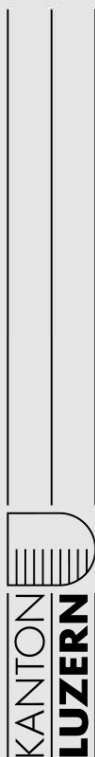




Sanierung des Baldeggersees

Auswertung der Zufluss-Untersuchungen 2000 bis 2004

Dezember 2005



Umwelt und Energie

umwelt-luzern.ch

Autor: Peter Herzog

Mitwirkende: Cornelia Crespi, Robert Lovas

Umwelt und Energie
Abteilung Gewässer
Libellenrain 15
Postfach 3439
CH-6002 Luzern
www.umwelt-luzern.ch

Vorwort

Der Gesamt-Phosphorgehalt im Baldeggersee soll 30 mg/m^3 deutlich unterschreiten und der Sauerstoffgehalt soll zu jeder Zeit und in jeder Seetiefe mindestens 4 mg/Liter betragen. Dieses Ziel steht für den Baldeggersee an oberster Stelle, denn dieser Zustand bedeutet einen gesunden See, in welchem standortgerechte Pflanzen und Tiere jederzeit ohne künstliche Massnahmen gedeihen können.

Optimisten meinen: „Kein Problem, das Ziel wird bald erreicht. Wir haben grosse Anstrengungen im Bereich der Abwasserreinigung unternommen, wir haben die Tierbestände reduziert, wir bewirtschaften unser Land nach den Richtlinien des ökologischen Leistungsnachweises und wir treffen zusätzliche Massnahmen gemäss Art. 62a des Gewässerschutzgesetzes.“

Pessimisten meinen: „Dieses Ziel ist beim Baldeggersee nicht einfach zu erreichen. Die Tierbestände sind immer noch zu hoch. Die grossen Phosphorvorräte in den Böden müssen zuerst abgebaut werden. Drainagen und eingedolte Bäche fördern nach wie vor die Abschwemmung von Nährstoffen.“

Um solche Aussagen zu belegen oder zu entkräften, braucht es Fakten und Belege, d.h. möglichst viele Daten, die uns über den Zustand und über die Entwicklung der Gewässer Auskunft geben. Seit über 20 Jahren untersucht unsere Dienststelle in enger Zusammenarbeit mit dem Gemeindeverband Baldegger- und Hallwilersee und dem Kantonalen Laboratorium die Zuflüsse des Sees. So entstanden umfangreiche, fast lückenlose Datenreihen, die über die Entwicklung der Wasserqualität der Zuflüsse und des Baldeggersees selbst Auskunft geben. Der Kanton Luzern hat so schon relativ früh ein klassisches Gewässermonitoring aufgebaut, welches heute – dank der Vielzahl von Daten – erlaubt, einige der oben aufgestellten Behauptungen zu beantworten. Das Monitoring ermöglicht die frühzeitige Erkennung von Veränderungen als Folge von äusseren Einflüssen. Im Fall des Baldeggersees soll es auch dazu dienen, Änderungen laufend zu dokumentieren und eingeleitete Massnahmen im Seeinzugsgebiet zu überprüfen (Erfolgskontrolle). Das Monitoring zeigt auf, dass die getroffenen Massnahmen wohl Wirkung gezeigt haben, dass das Sanierungsziel aber frühestens in etwa 10 Jahren erreicht werden kann.

Dass heute verlässliche Aussagen und Prognosen möglich sind, ist insbesondere jenen zu verdanken, die mit sehr viel Eigeninitiative und mit grossem Engagement die Überwachung und Sanierung des Baldeggersees seit langer Zeit lenken und steuern. Es sind Mitglieder des Gemeindeverbandes, Mitarbeitende der kantonalen Verwaltung, Fachleute von Hochschulen, Hydrologen und Ingenieure von privaten Firmen, aber auch die Landwirte, die wesentlich zur Verbesserung des Seezustandes beigetragen haben.

Ein besonderer Dank gebührt Peter Herzog, der seit 16 Jahren für die Zuflussuntersuchungen und Datenauswertungen verantwortlich ist. Er ist auch Autor dieses Berichtes. Danken möchten wir auch Cornelia Crespi und Robert Lovas, die ihn aktiv unterstützten.

Felix Renner
Dienststelle Umwelt und Energie (uwe)
Abteilungsleiter Gewässer

Inhalt

1.	Einleitung und Zielsetzung	1
2.	Untersuchungsgebiet	2
3.	Methodik	5
3.1.	Allgemeines Messprogramm	5
3.1.1.	Zuflüsse und Abfluss	5
3.1.2.	Abwasserreinigungsanlagen (ARA)	6
3.1.3.	Chemische Analysen	6
3.1.4.	Seeuntersuchungen	6
3.2.	Niederschlag	7
3.3.	Methodik der Frachtberechnung	7
3.3.1.	Konzentration-Abfluss-Beziehungen	7
3.3.2.	Konzentration-Zeit-Beziehungen	8
3.4.	Ermittlung des Phosphorausstrages aus den messtechnisch nicht erfassten Einzugsgebieten	9
3.5.	Phosphoreintrag über Niederschläge	9
4.	Ergebnisse	9
4.1.	Hydrologische Verhältnisse	9
4.1.1.	Niederschläge	9
4.1.2.	Abflussmengen der Zuflüsse	10
4.1.3.	Wasserbilanz	11
4.2.	Phosphoreintrag in den Baldeggersee	11
4.2.1.	Phosphoreintrag der Zuflüsse	11
4.2.2.	Flächenspezifische Phosphorfrachten der Zuflüsse	13
4.2.3.	Jährliche Phosphorzufuhren aus den Teileinzugsflächen in den Baldeggersee	14
4.2.4.	Jährlicher Phosphoreintrag in den Baldeggersee	15
4.2.5.	Zeitliche Entwicklung der abflussbereinigten Phosphoreinträge	16
4.2.6.	Entwicklung der jährlichen Phosphorzufuhren von 1958 bis 2004	17
4.3.	Phosphorexport über den Aabach	19
5.	Reaktion des Baldeggersees	20
5.1.	Phosphorbelastung, Phosphorinhalt im See und Nettosedimentation	20
5.2.	Sauerstoffinhalt des Baldeggersees	21
6.	Phosphorbilanz für den Baldeggersee	23
7.	Stickstoffbilanz für den Baldeggersee	23
8.	Pestiziduntersuchungen	25
9.	Einfluss der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf den See und seine Zuflüsse	27
10.	Massnahmen und Empfehlungen	30
11.	Zusammenfassung	32
12.	Literatur	33
13.	Anhang	35

1. Einleitung und Zielsetzung

Der Baldeggersee wird seit 1982 mit Hilfe von See-externen und See-internen Massnahmen saniert, und seit Mai 1985 werden die Zuflüsse des Baldeggersees im Rahmen des Monitorings von der Dienststelle Umwelt und Energie (uwe, früher Amt für Umweltschutz) in Zusammenarbeit mit dem Gemeindeverband Baldegger- und Hallwilersee untersucht [1, 2, 3, 4]. Die Zuflussuntersuchungen dienen als Erfolgskontrolle der externen Sanierungsmassnahmen und sollen vor allem Aufschluss über die Phosphor- und Stickstoffzufuhren zum Baldeggersee geben. Phosphor wird in dieser Arbeit mit dem Buchstaben P und Stickstoff mit N abgekürzt.

Vom März bis September 2005 wurden an sechs über die Vegetationsperiode verteilten Tagen aus verschiedenen Zuflüssen zum Baldegger- und Hallwilersee sowie an drei Stellen aus dem Aabach Stichproben entnommen und auf Pestizid-Rückstände untersucht. Die Untersuchungen sollen darüber Auskunft geben, in welchem Umfang und wie sorgfältig im Seetal Pestizide eingesetzt werden.

Schon 1977 [5] zeigten Modellrechnungen, dass die Belastungsgrenze des Baldeggersees bezüglich P-Eintrag bei rund 2 t liegt. 1996 hat die EAWAG [6] die kritische P-Belastung mittels Modellrechnung auf 1.8 t gelösten P festgelegt. 2003 präziserte die EAWAG [7] das Sanierungsziel auf einen Eintrag von weniger als 2.2 t algenverfügbaren P pro Jahr. Der algenverfügbare P besteht aus dem Gesamt-P-Eintrag aus der Abwasserreinigungsanlage (ARA Hochdorf), dem Gesamt-P-Eintrag aus direkt in den See mündenden Regenentlastungen, dem Gesamt-P, welcher mit Niederschlägen (Regen, Staub, Laub etc.) in den See fällt, und dem gelösten P, welcher mit Flüssen, Bächen oder direkt über landwirtschaftliche Nutzflächen in den See eingetragen wird. Liegt im Mittel über mehrere Jahre der Eintrag von algenverfügbarem P unter 2.2 t, wird laut Modellrechnungen der P-Gehalt im Baldeggersee auf weniger als 30 mg P/m³ sinken. Die algenverfügbaren P-Frachten aus der ARA Hochdorf sowie diejenigen aus Regenentlastungen und Niederschlägen können zusammen nicht auf weniger als 1 t P pro Jahr reduziert werden. Um das vorgegebene Ziel zu erreichen, bleibt damit für den Eintrag über die Zuflüsse noch eine Jahresfracht von höchstens 1.2 t gelöster P.

Mit der im Landwirtschaftsgesetz vom 29. April 1998 eingeführten "Agrarpolitik 2002" des Bundes verknüpft ist eine Änderung des Gewässerschutzgesetzes (GSchG), welche den Kantonen ermöglicht, die Bodenbewirtschaftung in belasteten Gebieten gewässerschonender zu steuern. Gemäss dem seit 1. Januar 1999 geltenden Artikel 62a leistet der Bund den Kantonen Abgeltungen an Massnahmen, die bei der Bodenbewirtschaftung zur Verhinderung von Abschwemmung und Auswaschung von Stoffen getroffen werden. Im P-Projekt Baldeggersee [8] werden Bauern im Einzugsgebiet des Baldeggersees, die sich "besonders seegerecht" verhalten, zusätzlich entschädigt. Das Projekt hat unter anderem das Ziel, die jährlichen bodenbürtigen P-Zufuhren zum Baldeggersee bis 2009 auf eine Belastung von 5 t gelösten P zu senken. In einer weiteren Projektphase soll das Sanierungsziel von weniger als 1.2 t bodenbürtigem gelösten P pro Jahr erreicht werden. Das Monitoring an den Zuflüssen zum Baldeggersee ist Bestandteil des Projektes.

Dank den ab den 70er-Jahren getroffenen Massnahmen im Seeinzugsgebiet - mit dem Bau von Kanalisationen und der ARA Hochdorf mit P-Filtration, dem Phosphat-Verbot in Waschmitteln (1985) aber auch den wirkungsvollen Massnahmen in der Landwirtschaft - ist der Gesamt-P-Gehalt im Baldeggersee von seinem Höchststand von 520 mg/m³ im Jahre 1974 auf 39 mg/m³ im Frühjahr 2005 zurückgegangen.

Die vorliegende Arbeit ermittelt die P-Zufuhren in den See für die Periode 2000 bis 2004 und stellt die Daten der Zuflussuntersuchungen seit 1986 dar. Unter Einbezug früherer Messdaten kann die Entwicklung der P-Frachten und deren Herkunft in den letzten Jahrzehnten aufgezeigt werden.

Die Auswertung der Zuflussuntersuchungen hat folgende Ziele:

- Ermittlung der Nährstofffrachten aus den Zuflüssen zur Berechnung der P- und N-Belastung des Sees und das Erstellen von P- und N-Bilanzen für das ganze Seeinzugsgebiet
- Aufzeigen der Nährstofffrachtanteile aus verschiedenen Quellen (bodenbürtige Zufuhr, Zufuhr aus Abwasser und Einträge mit Niederschlägen auf den See)
- Erfolgskontrolle der getroffenen Massnahmen
- Erkennen der Reaktion des Baldeggersees auf Veränderung der P-Belastung
- Empfehlungen für das Vorgehen bei zukünftigen Zuflussuntersuchungen

2. Untersuchungsgebiet

Das Einzugsgebiet des Baldeggersees umfasst eine Gesamtfläche von 73 km², davon nimmt die Seeoberfläche 5.2 km² ein. Bezogen auf die Seeoberfläche und auch im Vergleich mit dem dreimal grösseren Sempachersee hat der Baldeggersee ein grosses Einzugsgebiet. Der mit 862 m über Meer höchste Punkt des Einzugsgebietes liegt auf dem Lindenberg. Bei einem mittleren Seeabfluss von 1.3 m³/s beträgt die mittlere Wasseraufenthaltszeit im Baldeggersee 4.2 Jahre. In der Tabelle 1 sind die hydrographischen Kenndaten des Baldeggersees zusammengestellt.

Tabelle 1 Hydrographische Kenndaten des Baldeggersees

<i>Einzugsgebiet (ohne See)</i>	67.8 km²
<i>Seeoberfläche</i>	5.2 km²
<i>Seevolumen</i>	0.173 km³
<i>Höhe über Meer des Einzugsgebietes</i>	463 - 862 m ü M.
<i>Maximale Tiefe</i>	66 m
<i>Mittlere Tiefe</i>	33 m
<i>Maximale Länge</i>	4.8 km
<i>Maximale Breite</i>	1.6 km
<i>Mittlerer Abfluss Aabach (1976 - 2004)</i>	1.3 m³/s
<i>Mittlere Wasseraufenthaltszeit</i>	4.2 Jahre

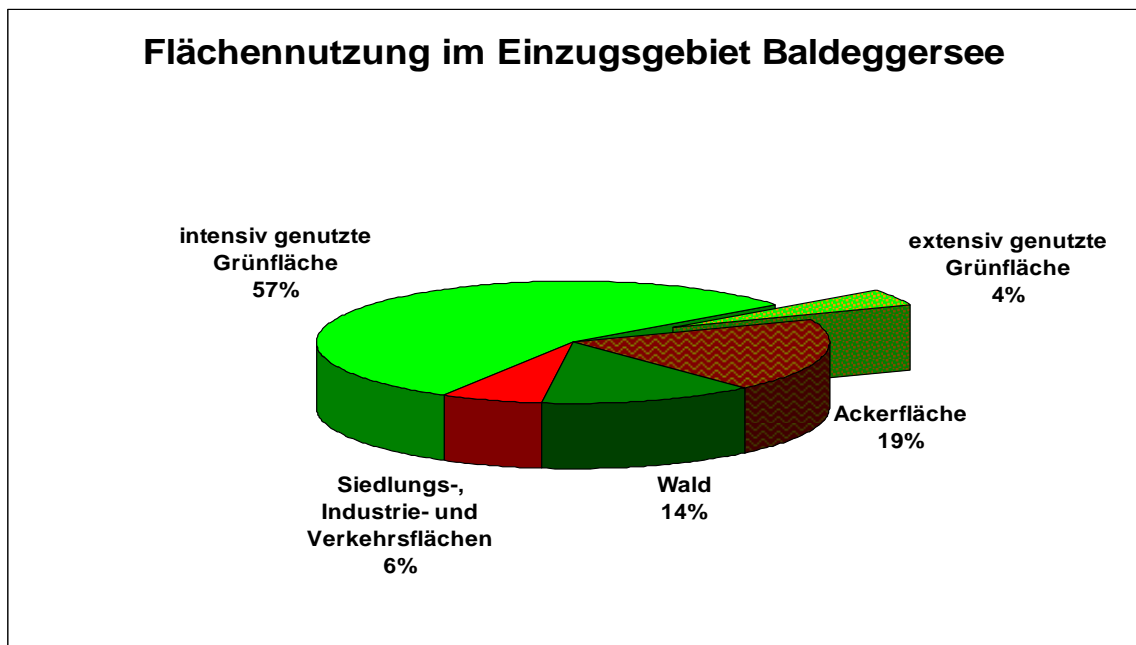
Die Tabelle 2 enthält die wichtigsten Angaben über die Nutzung des Einzugsgebietes. Die Wohnbevölkerung wie auch die Tierbestände haben seit 1999 um ca. 10% zugenommen. Die Tierbelastung liegt mit 2.4 Düngergrossvieheinheiten pro Hektare (DGVE/ha) deutlich über den vom Bund empfohlenen 1.8 DGVE/ha [9]. Während der Rindviehbestand rückläufig ist, haben die Schweine- und Geflügelbestände erheblich zugenommen.

Tabelle 2 Kenngrößen des Baldeggersee-Einzugsgebietes im Jahre 2004

Anzahl Einwohner im Einzugsgebiet	17'000 (Schätzung)
Einzugsgebiet (ohne See)	6'779 ha
Siedlungs-, Industrie- und Verkehrsflächen	424 ha
Waldfläche	890 ha
Landwirtschaftliche Nutzfläche	5'465 ha
- davon Grünfläche	3'954 ha
davon extensivierte Grünflächen	292 ha
- davon offene Ackerfläche	1'262 ha
Tierbestand total	12'552 DGVE
- davon Schweine	28'967 Stück
- davon Rindvieh	10'572 Stück
- davon Nutzgeflügel	57'524 Stück
Tierbelastung der landwirtschaftlichen Nutzfläche	2.4 DGVE/ha
Solltierbestand nach GRUDAF 01 [9]	1.8 DGVE/ha
Mittlere jährliche Niederschlagshöhe (1976 - 2004)	1'143 mm

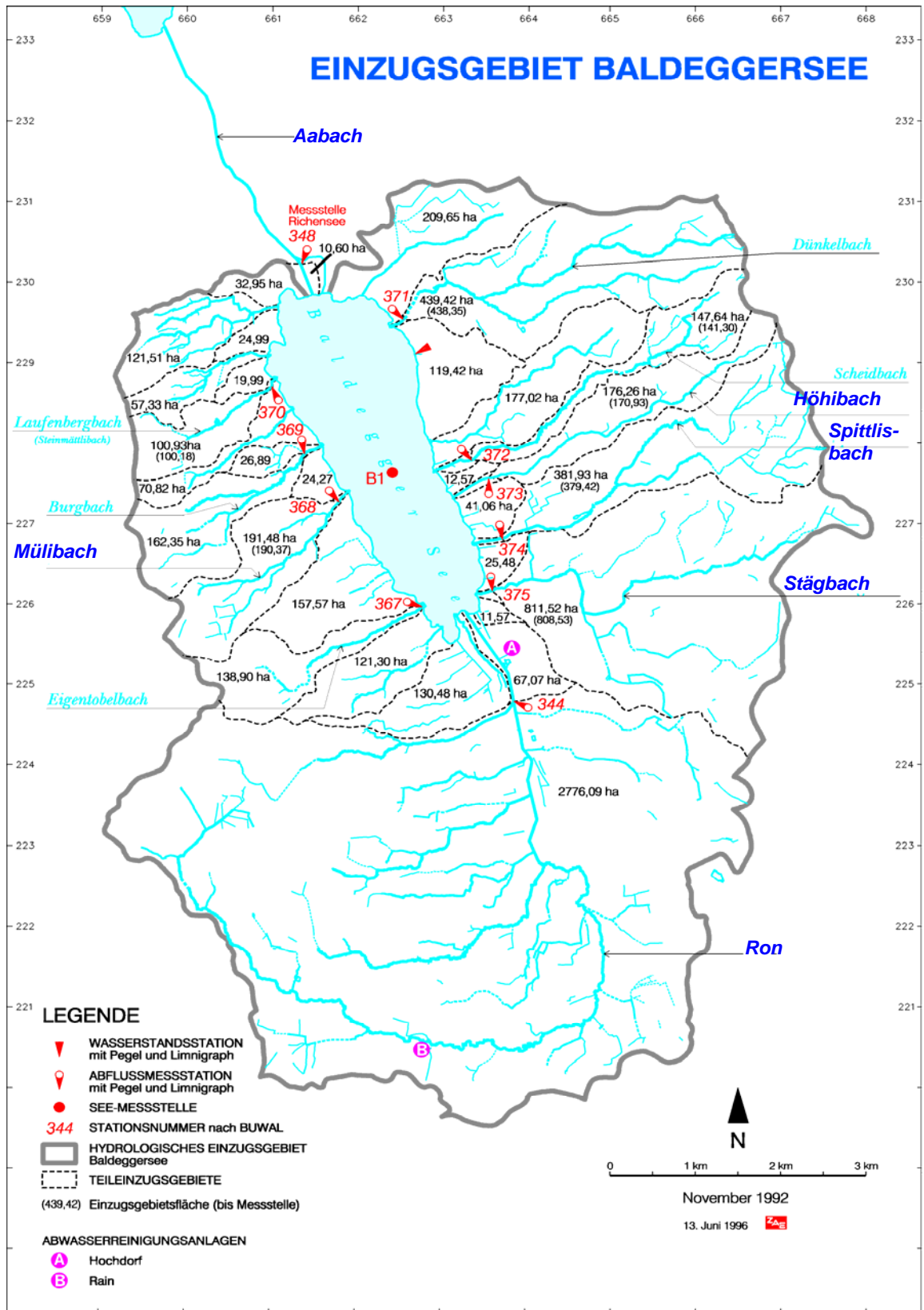
Die Flächennutzung (Abbildung 1) wird dominiert durch intensiv genutztes Wiesland mit einem Anteil von 57%. Der Anteil an extensiv genutztem Wiesland ist mit 4% noch deutlich unter der Zielsetzung des P-Projektes. Der Anteil der Siedlungs-, Industrie- und Verkehrsfläche hat innert 10 Jahren auf Kosten der landwirtschaftlichen Nutzfläche von 4% auf 6% zugenommen.

Abbildung 1 Flächennutzung im Einzugsgebiet Baldeggersee 2004



Die Abbildung 2 vermittelt einen Überblick über das Einzugsgebiet mit den Bachläufen, deren Teileinzugsgebieten und den Abflussmess- und Probenahmestellen. Die Flächenangaben beziehen sich auf das jeweilige Bacheinzugsgebiet (Flächenangaben in Klammern entsprechen den Teilflächen bis zur Messstelle). Zudem sind die Abwasserreinigungsanlagen (ARA) von Hochdorf (A) und Rain (B) eingezeichnet.

Abbildung 2 Einzugsgebiet Baldeggersee mit Gewässernetz, Bacheinzugsgebieten und Messstellen



3. Methodik

3.1. Allgemeines Messprogramm

3.1.1. Zuflüsse und Abfluss

Seit Mai 1985 werden die wichtigsten Zuflüsse zum Baldeggersee systematisch untersucht. An den untersuchten Zuflüssen Ron, Stägbach, Spittlisbach, Mülibach und Höhibach werden die Wasserstände mittels Limnigraphen kontinuierlich registriert. Die Abflussmenge des Baldeggersees wird durch die Landeshydrologie und -geologie (LHG) im Aabach gemessen.

Die Tabelle 3 enthält die Einzugsgebietsflächen der beprobten Bäche (fett gedruckt) sowie die nicht beprobten Bäche (kursiv) und Resteinzugsgebiete. Die Teilflächen sind in der Karte Anderhub AG vom Nov. 1992 (Abbildung 2) enthalten.

Tabelle 3 Einzugsgebietsflächen in km² Stand 1996

Bacheinzugsgebiete	km ²	1985-90 km ²	Bacheinzugsgebiete km ²	Teilgebiete
Ron bis Messstelle	27.76			südliches Einzugsgebiet 39.43 km² 58%
Resteinzugsgebiet	3.30	31.07	31.06	
Stägbach bis Messstelle	8.09			östliches Einzugsgebiet 17.05 km² 25%
Resteinzugsgebiet	0.28	8.37	8.37	
Spittlisbach bis Messstelle	3.79			
Resteinzugsgebiet	0.44	4.23	4.23	
Höhibach bis Messstelle	1.71			
Resteinzugsgebiet	0.18	1.89	1.89	
<i>Scheidbach bis Messstelle</i>	<i>1.41</i>			
Resteinzugsgebiet	3.03	4.44		
<i>Dünkelbach bis Messstelle</i>	<i>4.38</i>			
Resteinzugsgebiet	2.11	6.49	10.93	
Mülibach bis Messstelle	1.90			westliches Einzugsgebiet 11.31 km² 17%
Resteinzugsgebiet	0.01			
<i>Eigentobelbach bis Messstelle</i>	<i>1.39</i>			
Resteinzugsgebiet	1.59			
<i>Burgbach bis Messstelle</i>	<i>1.62</i>			
Resteinzugsgebiet	1.22			
<i>Laufenbergbach bis Messstelle</i>	<i>1.00</i>			
Resteinzugsgebiet	2.58	11.31	11.31	
Total Einzugsgebiet	67.79	67.79	67.79	67.79 km²

Seit 1989 erfolgte die periodische Probenahme für die chemischen Analysen alle 22 Tage. Zudem wurden Hochwasserproben entnommen. Es werden selbstfüllende Probennehmer (QSM-Sampler) eingesetzt, welche pegelabhängige Sammelproben über 24 Stunden entnehmen. Für die Hochwasserbeprobung werden die Probennehmer in einer bestimmten Pegelhöhe installiert. Diese Pegelhöhe ist für jede Messstelle so festgelegt, dass bei Hochwasser automatisch Wasserproben gesammelt werden. Die Tabelle 4 zeigt die Anzahl der von 1992 bis 2004 erhobenen Proben.

Tabelle 4 Anzahl der chemischen Proben in den Zuflüssen und im Aabach 1992 bis 2004
PP = periodische Proben, HP = Hochwasserproben

	1992		1993		1994		1995		1996		1997		1998		1999		2000		2001		2002		2003		2004		Total
	PP	HP	PP	HP	PP	HP	PP	HP	PP	HP	PP	HP	PP	HP	PP	HP	PP	HP	PP	HP	PP	HP	PP	HP	PP	HP	
Ron	17	18	16	14	15	11	19	13	16	6	17	3	16	8	17	13	17	8	16	17	17	16	16	2	17	13	358
Stägbach	17	17	16	14	15	14	19	14	16	6	17	3	16	8	17	15	17	7	16	13	17	14	16	1	17	6	348
Spittlisbach	17	14	16	14	15	16	19	15	16	9	17	3	16	7	17	15	17	7	16	18	17	18	16	2	17	2	356
Mülibach	17	19	16	14	15	18	19	17	16	10	17	3	16	8	17	17	17	8	16	18	17	18	16	1	17	14	381
Höhibach	17	9	16	13	15	11	19	15	16	10	17	3	16	8	17	17	17	9	16	18	17	18	15	2	17	14	362
Aabach	17		17		14		19		16		17		16		17		17		16		16		16		17		215
Total	102	77	97	69	89	70	114	74	96	41	102	15	96	39	102	77	102	39	96	84	101	84	95	8	102	49	2020

Infolge der ausgleichenden Wirkung des Baldeggersees treten beim Abfluss, dem Aabach, keine Hochwasserereignisse auf. Bei dieser Messstelle entfällt daher eine Hochwasserbeprobung.

3.1.2. Abwasserreinigungsanlagen (ARA)

Die Gemeinde Rain hat 1999 beschlossen, ihre ARA stillzulegen und die Siedlungsabwässer nach Eschenbach abzuleiten und in der ARA Eschenbach-Inwil zu reinigen. Diese Abwasserableitung wurde am 16. August 2000 in Betrieb genommen. Die Ron ist somit seit diesem Datum im oberen Teil von stetig anfallendem Siedlungsabwasser entlastet. Die aus der ARA Rain bis August 2000 abgeleiteten P-Frachten sind in der ermittelten P-Fracht der Ron enthalten.

Die Wirkung der P-Elimination in der ARA Hochdorf und somit auch die in die Ron abgeleiteten P-Frachten wurden durch das ARA-Personal gemessen und durch das uwe überwacht. In der Tabelle 5 sind die jährlichen Abwassermengen, die Jahresfrachten an biochemischem Sauerstoffbedarf (BSB₅), Gesamt-P, Nitrat, Ammonium sowie der Wirkungsgrad der P-Elimination zusammengestellt.

Tabelle 5 ARA Hochdorf: abgeleitete jährliche Abwassermengen, Frachten BSB₅ und Gesamt-Phosphor, Wirkungsgrade der P-Elimination und abgeleitete Jahresfrachten an Nitrat und Ammonium in den Jahren 1995 bis 2004

ARA Hochdorf									
Jahr	Abwassermenge m ³ /Jahr	Jahresfracht ARA-Zulauf		Jahresfrachten Gesamt-P kg/Jahr		Wirkungsgrad P-Elimination %	Jahresfrachten im ARA-Abfluss		
		t BSB ₅	Einwohnerwerte	ARA-Zulauf	ARA-Ablauf		t Nitrat-N	t Ammonium-N	t anorg. N
1995	2'644'000	326	17'900	10550	871	91.7	32.0	8.2	40.2
1996	2'280'000	349	19'100	9100	1179	87.0	24.9	10.9	35.8
1997	2'035'000	436	23'900	12700	916	92.8	11.6	21.0	32.6
1998	2'104'000	416	22'800	10100	499	95.1	7.1	32.4	39.5
1999	2'529'000	440	24'100	11300	1287	88.6	9.1	33.6	42.8
2000	2'296'000	461	25'300	9500	530	94.4	7.4	45.7	53.1
2001	2'657'000	528	28'900	12000	1656	86.2	9.8	23.7	33.5
2002	2'497'000	514	28'200	8550	1408	83.5	7.5	31.2	38.7
2003	2'009'000	238	13'000	9000	405	95.5	36.6	2.4	39.0
2004	1'965'000	215	11'800	9400	403	95.7	43.4	0.7	44.1

Aus den Daten der Tabelle 5 ist zu ersehen, dass die Belastung der ARA Hochdorf bis ins Jahr 2002 massiv zugenommen hat. Nicht nur das stetige Bevölkerungswachstum, sondern vor allem die sehr stark angestiegene Belastung durch die Abwässer zweier Lebensmittelverarbeitender Produktionsbetriebe hat dazu geführt, dass die ARA überlastet war und die geforderte Reinigungsleistung infolge häufigem Entlasten von nur vorgeklärtem Abwasser nicht mehr erbringen konnte. Die Gesamt-P-Fracht im ARA-Auslauf und die massiv höheren Ammonium-Frachten belasteten die Ron und den Baldeggersee in nicht tolerierbarerem Ausmass. Durch die Inbetriebnahme von Abwasservorbehandlungsanlagen in den beiden Industriebetrieben Ende 2002 konnte die ARA Hochdorf entscheidend entlastet werden. Die zu reinigende Abwasserschmutzfracht (BSB₅) sank von 2002 bis 2004 um 60%.

3.1.3. Chemische Analysen

Die chemischen Analysen der Proben wurden durch das Kantonale Laboratorium Luzern durchgeführt. In den Proben der 5 Zuflüsse wurden Ammonium (NH₄-N), Nitrat (NO₃-N), Orthophosphat (Phosphat-P), gelöster P und Gesamt-P sowie die ungelösten Stoffe (GUS) bestimmt. Zusätzlich wurden im Hauptzufluss (Ron) bei den periodischen Proben Chlorid (Cl⁻), Sulfat (SO₄²⁻) und der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) bestimmt.

An der Stelle Aabach Hitzkirch, dem Abfluss des Baldeggersees und gleichzeitig Zufluss zum Hallwilersee, wurden noch der pH-Wert und die Leitfähigkeit bestimmt.

3.1.4. Seeuntersuchungen

An der tiefsten Stelle des Baldeggersees werden monatlich für die Temperatur, den pH-Wert, die Leitfähigkeit, den Sauerstoffgehalt, für Phosphor (gelöster P, Gesamt-P und Phosphat-P) und Stickstoff (Ammonium, Nitrit und Nitrat) Tiefenprofile gemessen. Aus

diesen Daten lassen sich für den Baldeggersee Stoffinhalte und –konzentrationen berechnen.

3.2. Niederschlag

Für die Berechnung der Niederschläge, die auf das Einzugsgebiet und die Seeoberfläche fielen, wurde auf die umliegenden Stationen der schweizerischen Meteorologischen Anstalt (Aesch, Beromünster, Muri und Sempach) zurückgegriffen. Für die Berechnung der Jahresniederschlagshöhen wurden die monatlichen Niederschlagshöhen der 4 Stationen arithmetisch gemittelt und aus diesen Mittelwerten die Jahresniederschlagsmengen bestimmt.

3.3. Methodik der Frachtberechnung

Hinsichtlich der Methodik der Frachtberechnung und der Fehlerrechnung wird auf den Bericht „Zufluss-Untersuchungen Sempachersee 1992/97“ vom Oktober 1999 [11] verwiesen.

3.3.1. Konzentration-Abfluss-Beziehungen

Für die in diesem Bericht errechneten P-Frachten sind folgende c-Q-Beziehungen verwendet worden:

$$F1: c(Q) = a_1/Q + a_2 \cdot Q^{a_3}$$

$$F2: c(Q) = a_1/Q + a_2 \cdot \log_{10}(Q+1)$$

$$F3: c(Q) = a_1/Q + a_2 \cdot (1 - e^{-(a_3 \cdot Q)})$$

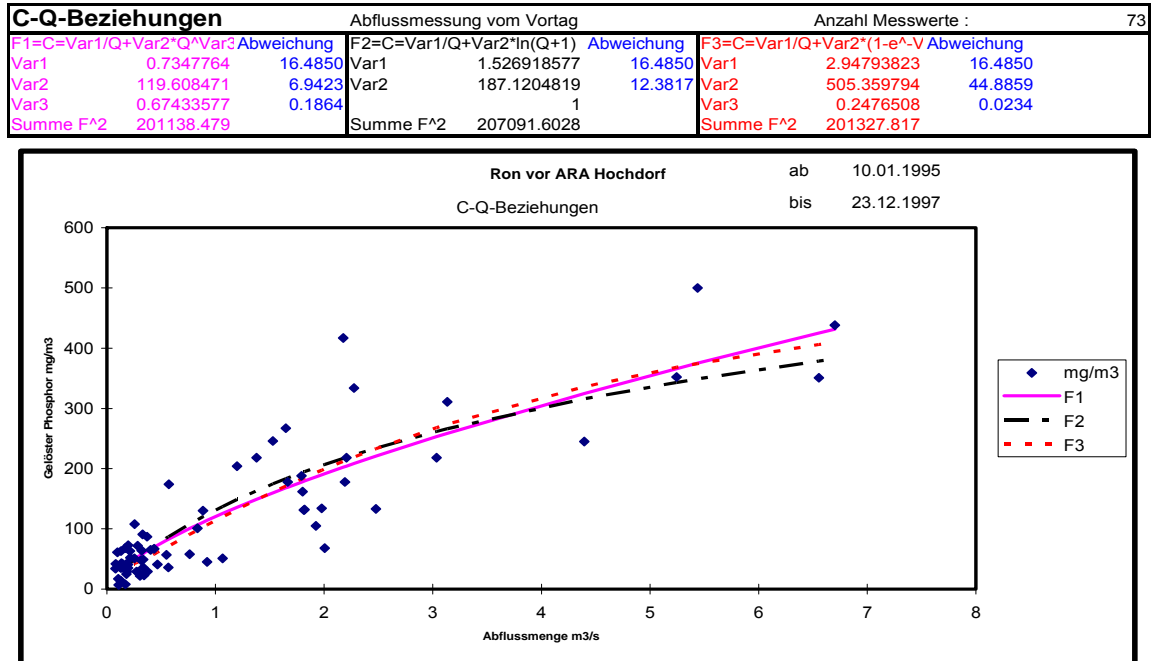
Q ist die Abflussmenge, c steht für die P-Konzentration und a_1 , a_2 und a_3 sind die für die Periode gültigen Konstanten.

Aus den in der Gewässerdatenbank der Dienststelle uwe abgelegten Tagesabflussmengen und P-Konzentrationen jeder Messstelle lassen sich für ausgewählte Zeitspannen die c-Q-Beziehungen ermitteln. Das Programm liefert gleichzeitig mit den c-Q-Beziehungen die Summe der Fehlerquadrate der einzelnen Messwerte und damit die statistische Information, welche der c-Q-Beziehung der tatsächlichen Situation am nächsten kommt. Die so ermittelte beste c-Q-Beziehung inkl. Angaben für die Fehlerrechnung wird in die Datenbank zurückgeschrieben. Aus statistischen Gründen sind für eine hinreichende Genauigkeit zur Ermittlung einer c-Q-Beziehung etwa 100 Messwerte notwendig. Beim heutigen Untersuchungsprogramm werden jährlich pro Messstelle je nach Witterungscharakter 17 bis 36 Proben untersucht. Zur Ermittlung der c-Q-Beziehungen werden deshalb gleitende Dreijahresperioden ausgewertet und die erhaltenen c-Q-Beziehungen jeweils für das mittlere Jahr dieser Perioden zur Frachtberechnung verwendet.

Aus den Tagesabflussmengen und den c-Q-Beziehungen lassen sich die Tagesfrachten und durch Summierung dieser Werte die Jahresfrachten berechnen. Die Frachtberechnung für das Jahr 2004 muss, da es sich um das letzte Jahr der Messreihe handelt, als provisorisch angesehen werden.

In der Abbildung 3 sind als Beispiel die drei c-Q-Beziehungen für den gelösten P der Messstelle Ron vor der ARA Hochdorf dargestellt. Im Grafikkopf sind die Konstanten, die Fehlerabweichungen und die Summen der Fehlerquadrate aufgeführt.

Abbildung 3 Beispiel Berechnung der c-Q-Beziehungen von gelöstem P in der Ron für die Periode 1995 bis 1997



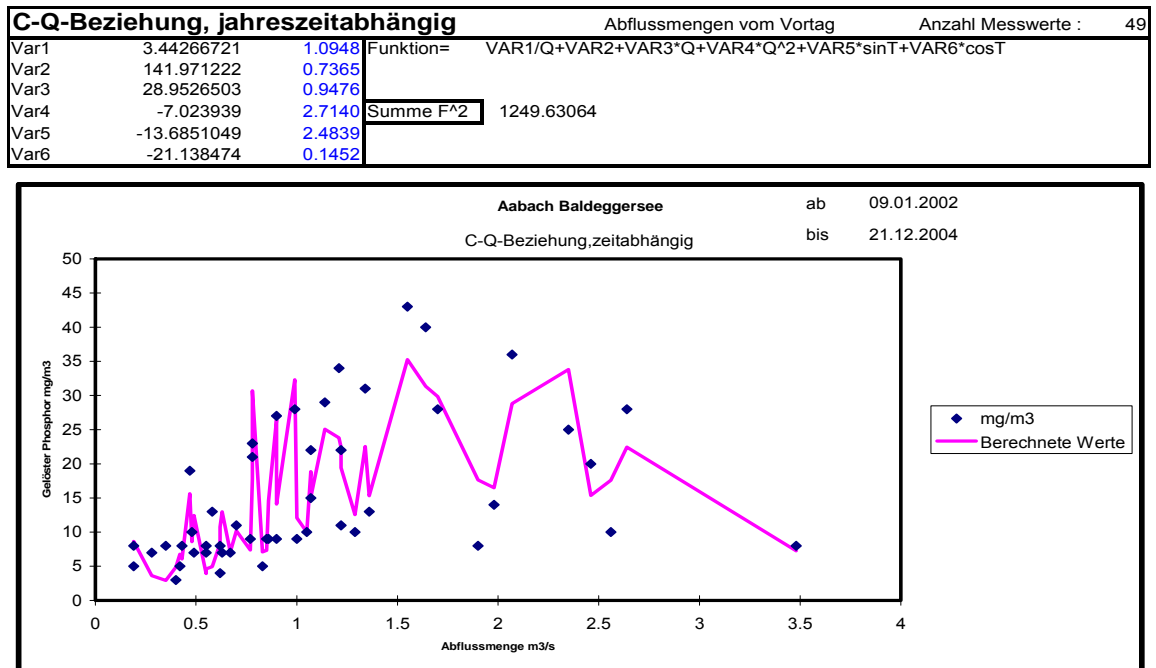
3.3.2. Konzentration-Zeit-Beziehungen

Der Seeabfluss wird aus den oberflächennahen Schichten des Baldeggensees gespeisen. Die Konzentrationen der Wasserinhaltsstoffe zeigen somit saisonale Schwankungen. Aus diesem Grund erfolgte für die Messstelle Aabach Hitzkirch die Frachtberechnung mit der nachstehenden jahreszeitabhängigen Konzentration-Abfluss-Beziehung:

$$F4: c(Q,t) = a_1/Q + a_2 + a_3*Q + a_4*Q^2 + a_5*\sin(t) + a_6*\cos(t)$$

Q ist die Abflussmenge, c steht für die P-Konzentration, $a_1 - a_6$ sind die für die Periode gültige Konstanten und t steht für den Tag des Kalenderjahres.

Abbildung 4 Beispiel Berechnung der c-Q-t-Beziehung von gelöstem P des Aabaches von 2002 bis 2004



3.4. Ermittlung des Phosphoraustrages aus den messtechnisch nicht erfassten Einzugsgebieten

Die Ermittlung des P-Austrages aus den Resteinzugsgebieten erfolgte wie im Vorgängerbericht [4] durch Extrapolation benachbarter gemessener Bacheinzugsgebiete. Zu diesem Zweck wurde das Seeinzugsgebiet in ein südliches (Ron und Stägbach), ein östliches (Spittlisbach und Höhibach) und ein westliches (Mülibach) Teileinzugsgebiet unterteilt und die P-Frachten in diesen drei Teileinzugsgebieten auf die jeweiligen Restflächen gemäss Tabelle 3 extrapoliert. Der Nachteil dieser Methode ist der sehr unterschiedliche Anteil der überwachten gegenüber den nicht überwachten Flächen. Dieser Anteil beträgt im südlichen Teil 91%, im östlichen Teil 32% und im westlichen, jedoch kleinsten Teil lediglich 17%.

3.5. Phosphoreintrag über Niederschläge

Im Einzugsgebiet des Baldeggersees liegen keine Messungen des P-Gehaltes in Niederschlägen und Depositionen vor. Im Einzugsgebiet des Sempachersees erfolgten im Jahre 2000 Messungen mit Passivsammlern. Sie bestätigten die von Krummenacher [10] erhobenen Werte (Gesamt-P: 83 mg/m³; gelöster P: 53 mg/m³; PO₄-P: 36 mg/m³) in den Niederschlägen.

4. Ergebnisse

4.1. Hydrologische Verhältnisse

4.1.1. Niederschläge

Die monatlichen Niederschläge sowie die Jahressummen sind als Mittelwerte der vier Messstationen Aesch, Beromünster, Sempach und Muri in der Tabelle 6 zusammengestellt.

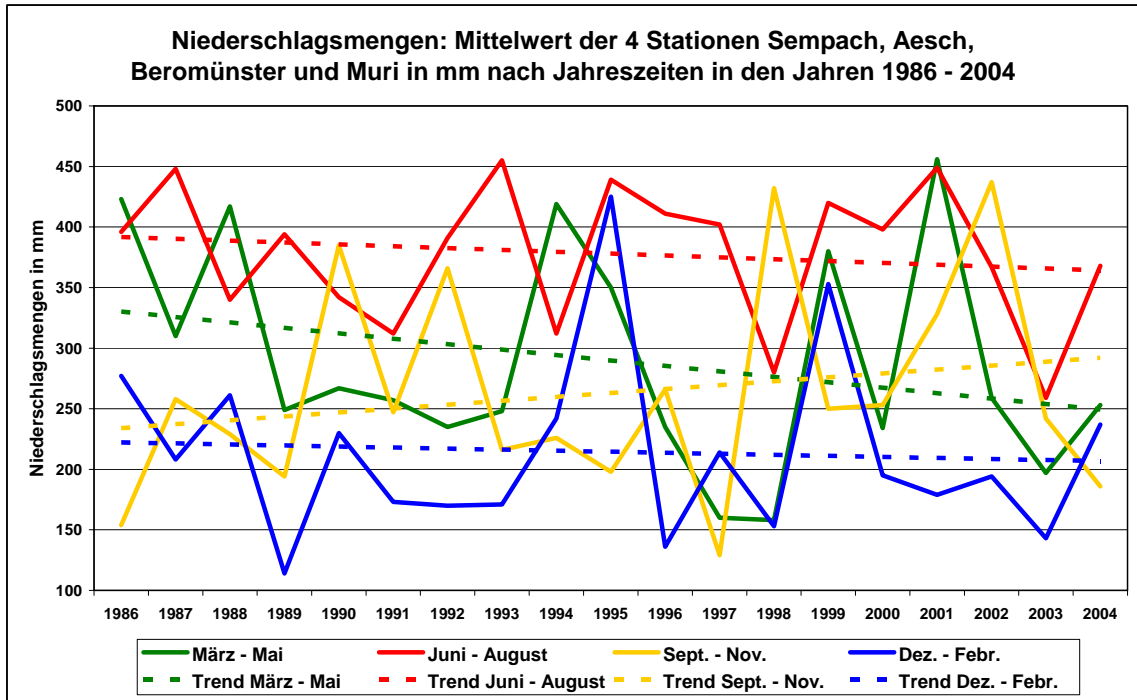
Tabelle 6 Mittlere Niederschlagshöhen 1986 bis 2004 in mm pro Monat bzw. pro Jahr (Quelle: Meteo Schweiz)

Jahr	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Januar	133	65	64	12	34	60	15	40	112	141	10	19	74	64	33	108	27	74	140
Februar	52	98	88	60	131	28	73	19	40	99	65	79	38	162	122	28	89	31	49
März	75	80	227	46	59	55	108	39	61	116	34	29	57	54	74	221	57	40	56
April	175	76	56	146	77	53	79	75	98	78	53	75	71	117	52	153	61	55	61
Mai	173	154	134	57	131	149	48	134	260	156	148	56	30	209	108	82	141	102	136
Juni	162	254	121	95	207	189	121	114	105	141	125	164	94	140	100	205	110	79	144
Juli	105	98	114	160	67	90	149	212	76	102	144	152	97	89	196	150	134	94	112
August	129	96	105	139	68	33	121	129	131	196	142	86	89	191	102	94	123	86	112
September	25	142	65	76	118	87	54	73	111	124	49	44	168	112	97	169	131	50	52
Oktober	80	37	115	91	114	47	165	99	75	7	99	46	141	41	83	81	125	131	114
November	49	79	49	27	153	113	147	44	40	67	118	39	123	97	73	78	181	61	20
Dezember	92	45	109	42	65	85	82	112	90	185	61	116	41	127	40	43	78	38	48
Summe	1250	1224	1247	951	1224	989	1162	1090	1199	1412	1048	905	1023	1403	1080	1412	1257	841	1044

Mit einer Niederschlagshöhe von nur 841 mm war das Jahr 2003 extrem trocken. Das Jahresmittel der Messreihe 1986 bis 2004 beträgt 1'145 mm.

Zur Überprüfung, ob die sich abzeichnende Klimaänderung eine Verlagerung der Niederschläge zwischen den Jahreszeiten zur Folge hat, sind in der Abbildung 5 die Niederschlagshöhen der vier Jahreszeiten sowie deren linearer Trend dargestellt.

Abbildung 5 Niederschläge nach Jahreszeit in mm von 1986 bis 2004



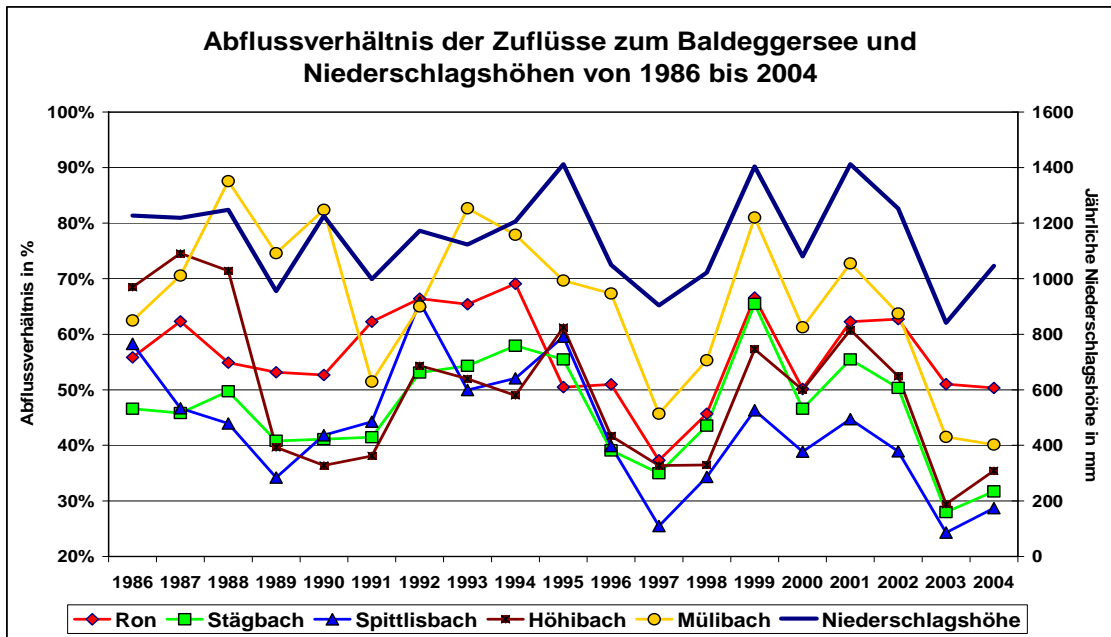
Aus der Abbildung 5 ist ersichtlich, dass im Winter (Dezember – Februar) die geringsten Niederschlagsmengen fallen, die Veränderung in der Messperiode 1986 bis 2004 ist nicht relevant. Die Frühlingsmonate (März – Mai) zeigen mittlere Niederschlagsmengen mit deutlich abnehmendem Trend. In den Sommermonaten (Juni - August) fallen die grössten Niederschlagsmengen bei leicht fallendem Trend. Die herbstlichen Niederschlagsmengen (September – November) liegen im mittleren Bereich, wobei eine deutliche Zunahme sichtbar ist.

4.1.2. Abflussmengen der Zuflüsse

In der Tabelle 7 (Anhang) sind die Abflusskennzahlen der 6 untersuchten Zuflüsse zum Baldeggersee von 1986 bis 2004 zusammengestellt. Neben den Jahresabflussmengen sind der Gebietsabfluss (in Litern pro Sekunde und km²), die Abflusshöhe (in mm pro Jahr) und das Abflussverhältnis (prozentualer Anteil des Niederschlages, welcher an der Abflussmessstelle gemessen wurde) aufgelistet.

In der Abbildung 6 sind die Abflussverhältnisse der untersuchten Zuflüsse sowie die Niederschlagshöhen für die Jahre 1986 bis 2004 dargestellt. Die Abflussverhältnisse von Spittlisbach, Höhibach und Mülibach zeigen einen deutlich sinkenden Trend.

Abbildung 6 Jährliche Abflussverhältnisse der Zuflüsse zum Baldeggersee und Niederschlagshöhen von 1986 bis 2004



4.1.3. Wasserbilanz

Die Wasserbilanz (Tabelle 8) ist unter Berücksichtigung der grossen Messungenauigkeiten sehr ausgeglichen. Grössere Unsicherheiten bestehen bei der Abschätzung des Grundwasserabflusses aus dem See und der Verdunstung aus dem See. Die Bilanz über die Messperiode 1986 bis 2004 ist leicht positiv (+ 7%). Von den Niederschlagsmengen, die auf das Seeinzugsgebiet und auf den See fallen, werden rund 50% an der Messstelle Aabach (Seeauslauf) gemessen.

Tabelle 8 Wasserbilanz Baldeggersee 1986 bis 2004 in Mio. m³ pro Jahr

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Zuflüsse gemessen	29.2	31.0	29.7	20.5	26.6	23.9	32.1	30.2	33.9	32.7	21.9	14.1	19.6	39.4	22.9	36.6	31.4	15.7	19.9
nicht erfasstes Einzugsgebiet ¹⁾	18.3	18.4	20.2	12.4	17.4	11.8	18.2	17.8	18.8	21.6	13.4	8.1	11.1	22.1	13.4	20.8	16.4	7.2	9.4
Niederschläge auf Seeoberfläche	6.4	6.3	6.5	5.0	6.4	5.2	6.1	5.8	6.3	7.3	5.5	4.7	5.3	7.3	5.6	7.3	6.5	4.4	5.4
ARA Hochdorf	3.2	3.3	3.2	2.6	3.0	2.8	2.5	2.2	2.4	2.6	2.3	2.0	2.1	2.5	2.3	2.7	2.5	2.0	2.0
Summe	57.1	59.0	59.6	40.4	53.4	43.6	59.0	56.0	61.4	64.3	43.0	29.0	38.1	71.3	44.2	67.4	56.9	29.2	36.7
Verdunstung von Seeoberfläche	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
Abfluss Aabach	45.6	48.8	45.2	29.7	37.1	32.6	46.0	38.9	42.4	54.3	39.5	26.2	29.3	56.8	40.9	56.7	44.9	23.6	30.6
Abfluss Grundwasser	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Summe	52.3	55.5	51.9	36.4	43.8	39.3	52.7	45.6	49.1	61.0	46.2	32.9	36.0	63.5	47.6	63.4	51.6	30.3	37.3
Änderung Seeinhalt	1.8	-0.9	0.9	-1.8	2.5	-0.1	0.2	-0.4	0.1	2.8	-2.9	-0.2	-0.1	1.7	-2.9	0.4	1.4	-1.7	-0.6
Bilanz	3.0	4.4	6.8	5.8	7.1	4.4	6.0	10.8	12.2	0.6	-0.4	-3.8	2.3	6.2	-0.5	3.6	3.9	0.7	0.0

¹⁾ Der Abfluss aus dem nicht erfassten Einzugsgebiet wurde flächenspezifisch hochgerechnet

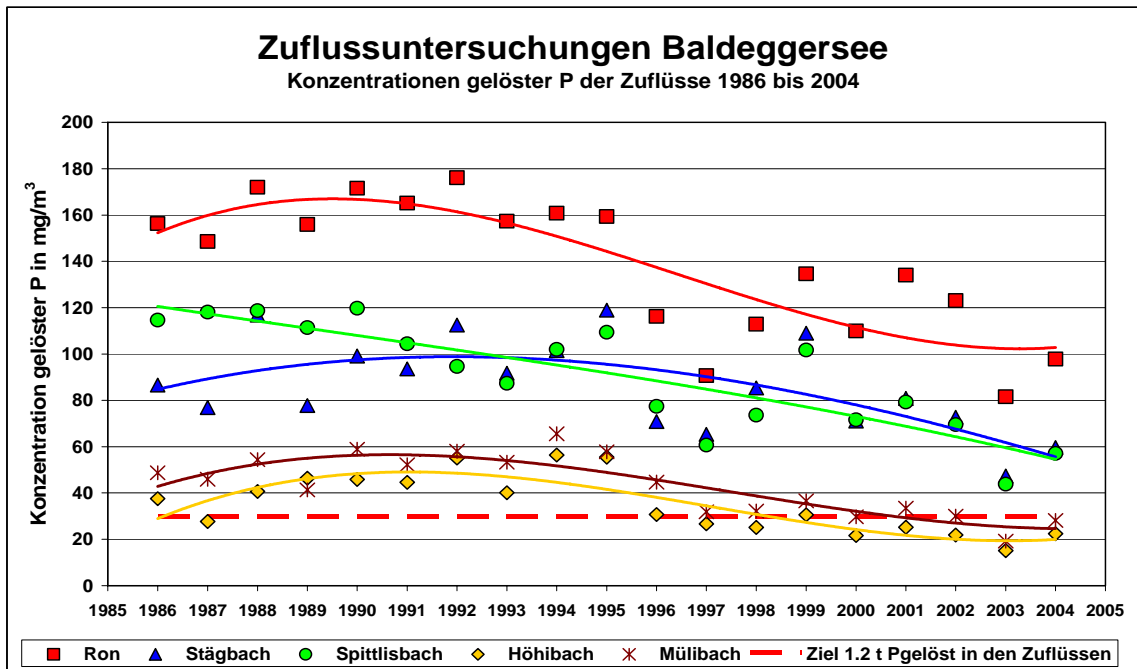
4.2. Phosphoreintrag in den Baldeggersee

4.2.1. Phosphoreintrag der Zuflüsse

In den Tabellen 9 bis 11 im Anhang sind die jährlichen Abflussmengen und die nach der unter 3.3.1. beschriebenen Methode ermittelten P-Frachten in den Jahren 1986 bis 2004 der fünf untersuchten Zuflüsse aufgelistet. In Abbildung 7 sind die mittleren jährlichen Konzentrationen an gelöstem P in den beprobten Zuflüssen dargestellt. Die weitaus höchsten Konzentrationen werden in der Ron gemessen, gefolgt vom Stägbach und vom Spittlisbach. Die Konzentrationen in diesen drei Zuflüssen liegen weit über der Zielkon-

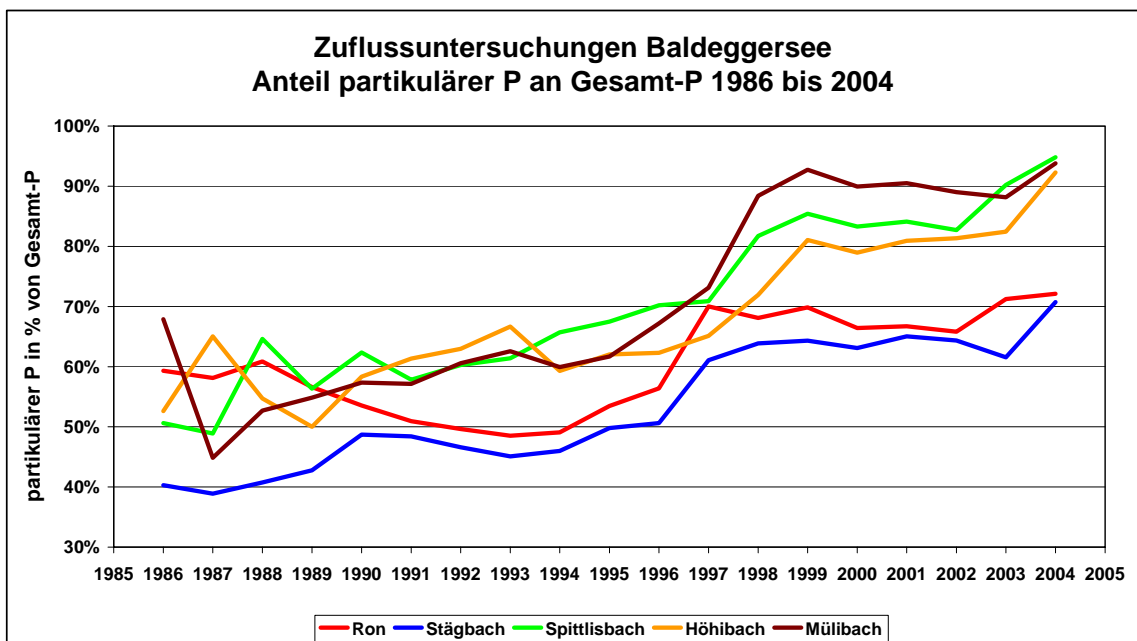
zentration von weniger als 30 mg/m³ gelöstem P. Diese Zielkonzentration errechnet sich aus dem für den Baldeggersee verkräftbaren jährlichen Eintrag von 1.2 t gelöstem P in den Zuflüssen geteilt durch den mittleren jährlichen Wasserzufluss von 42 Mio. m³. Die Konzentrationen von gelöstem P in den Zuflüssen zeigen seit 1990 einen deutlich sinkenden Trend. Die beiden kleinsten beprobten Bäche, der Höhibach und der Mülibach, haben in den letzten Jahren die Zielkonzentration von weniger als 30 mg/m³ gelösten P leicht unterschritten.

Abbildung 7 Konzentrationen von gelöstem P in den beprobten Zuflüssen zum Baldeggersee in mg pro m³ von 1986 bis 2004



Die Abbildung 8 zeigt den prozentualen Anteil von an Partikel gebundenem P am Gesamt-P in den 5 untersuchten Zuflüssen zum Baldeggersee.

Abbildung 8 Prozentualer Anteil von partikulärem P am Gesamt-P in den Zuflüssen zum Baldeggersee von 1986 bis 2004

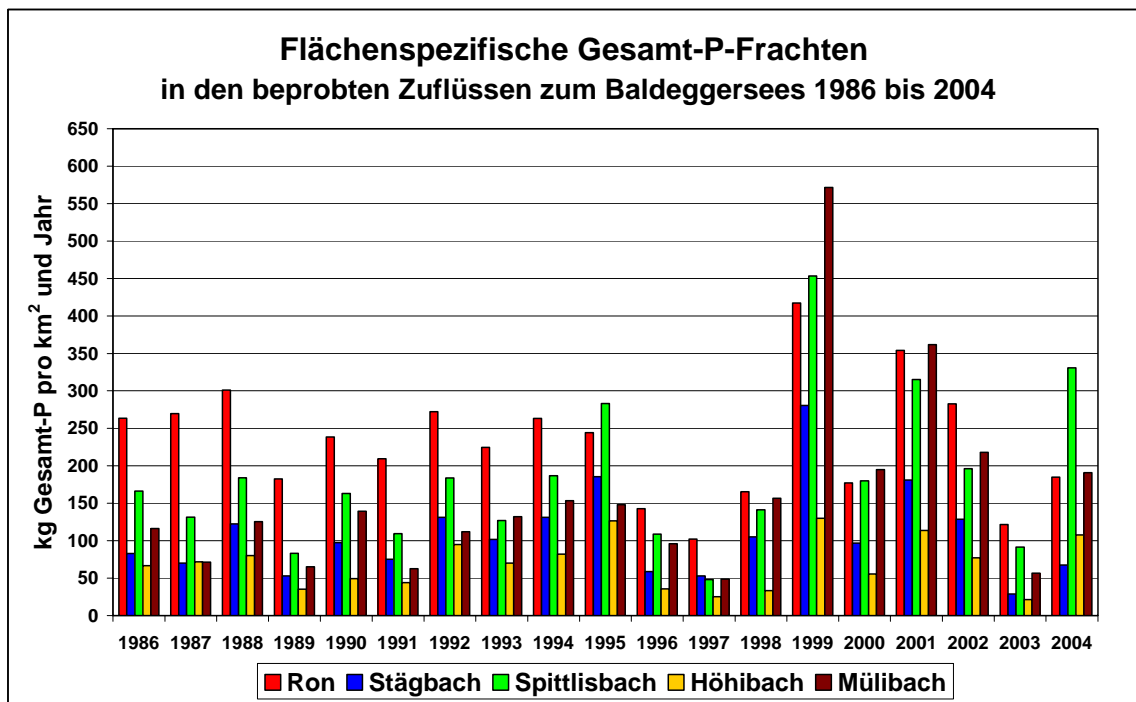


Auffallend ist der deutliche Anstieg des partikulären P-Anteils ab Mitte der 90-er Jahre. Der Anstieg des partikulären P-Anteils ist in der Ron und dem Stägbach geringer als in den wesentlich steileren Zuflüssen Spittlisbach, Höhibach und Mülibach: ein Hinweis auf verstärkte Erosion in diesen Bacheinzugsgebieten.

4.2.2. Flächenspezifische Phosphorfrachten der Zuflüsse

Die flächenspezifischen Gesamt-P-Frachten in den untersuchten Zuflüssen in der Periode 1986 bis 2004 sind in der Abbildung 9 dargestellt.

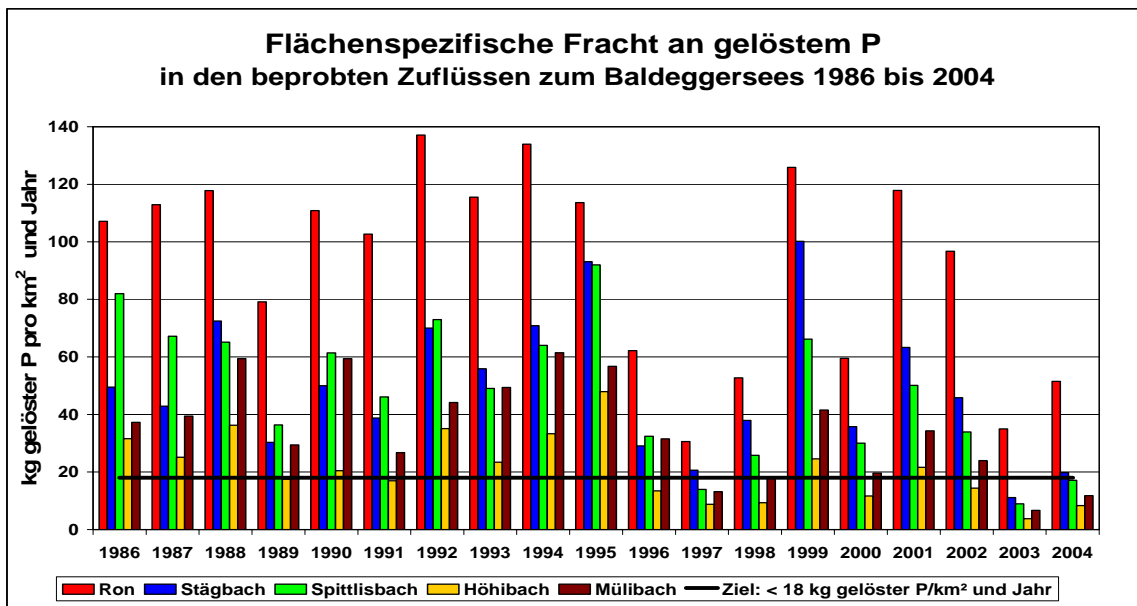
Abbildung 9 Jährliche flächenspezifische Gesamt-P-Frachten in kg pro km² und Jahr in den beprobten Zuflüssen zum Baldeggersee von 1986 bis 2004



Auffallend sind die sehr hohen flächenspezifischen Gesamt-P-Frachten in den sehr nassen Jahren 1999 und 2001. Die sehr trockenen Jahre 1997 und 2003 fallen dagegen durch die sehr geringen P-Frachten auf. Während in den früheren Jahren die Ron durch sehr hohe Frachten an Gesamt-P auffiel, dominieren seit 1999 die Extremwerte beim Spittlisbach und Mülibach.

Ein etwas anderes Bild zeigt sich bei den flächenspezifischen Frachten des gelösten P (Abbildung 10). In der Ron werden die weitaus grössten Frachten gemessen, gefolgt vom Stägbach und vom Spittlisbach. Die geringsten Frachten werden im Höhibach und Mülibach ermittelt. Die Zielgrösse von weniger als 18 kg gelöstem P pro km² und Jahr errechnet sich aus der tolerierbaren bodenbürtigen Jahresfracht von 1.2 t gelöstem P geteilt durch die Einzugsgebietsfläche von 67.8 km². Nur in extrem trockenen Jahren unterschreiten mit Ausnahme der Ron die überwachten Bäche dieses Ziel.

Abbildung 10 Jährliche flächenspezifische Frachten an gelöstem P in kg pro km² und Jahr in den beprobten Zuflüssen zum Baldeggersee von 1986 bis 2004

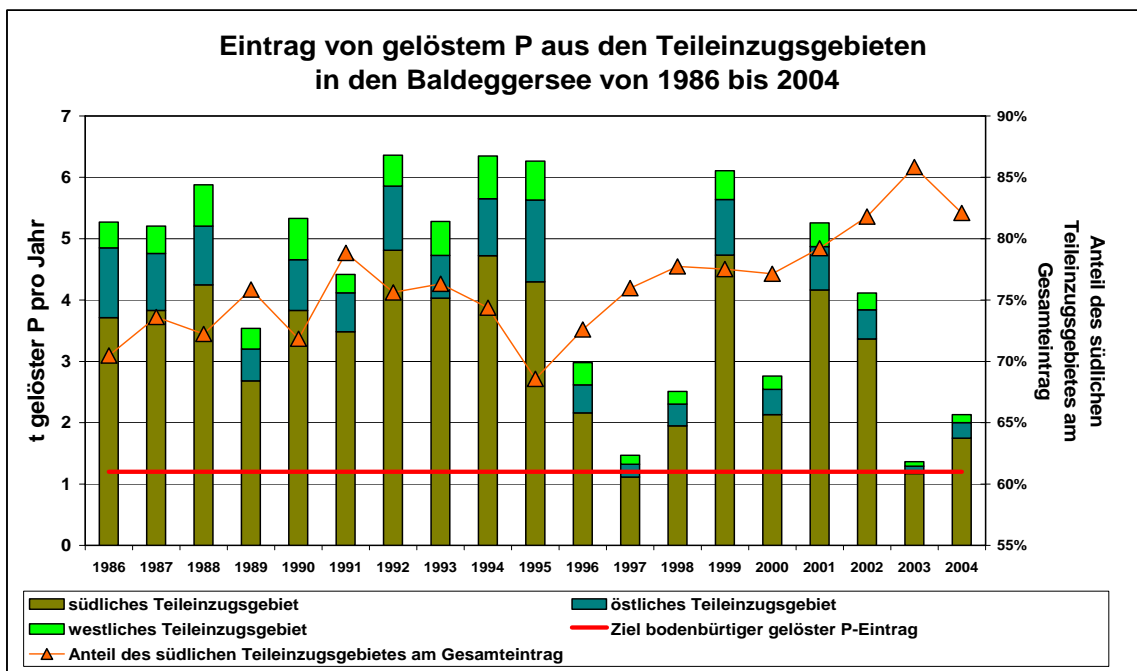


4.2.3. Jährliche Phosphorzufuhren aus den Teileinzugsgebietsflächen in den Baldeggersee

In den Tabellen 12 und 13 (Anhang) sind die jährlichen bodenbürtigen Frachten an Gesamt-P, gelöstem P, PO₄-P und partikulärem P der einzelnen Zuflüsse und durch flächenproportionale Hochrechnung die entsprechenden Jahresfrachten der drei Teileinzugsgebiete in den Jahren 1986 bis 2004 enthalten.

In der Abbildung 11 sind die Einträge an gelöstem P in den Baldeggersee dargestellt. Der Anteil aus dem südlichen Teileinzugsgebiet hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Obschon der flächenmässige Anteil des südlichen Einzugsgebietes nur 58% beträgt, gelangten in den letzten Jahren 80 – 85% der gelösten P-Frachten aus diesem Teileinzugsgebiet in den Baldeggersee.

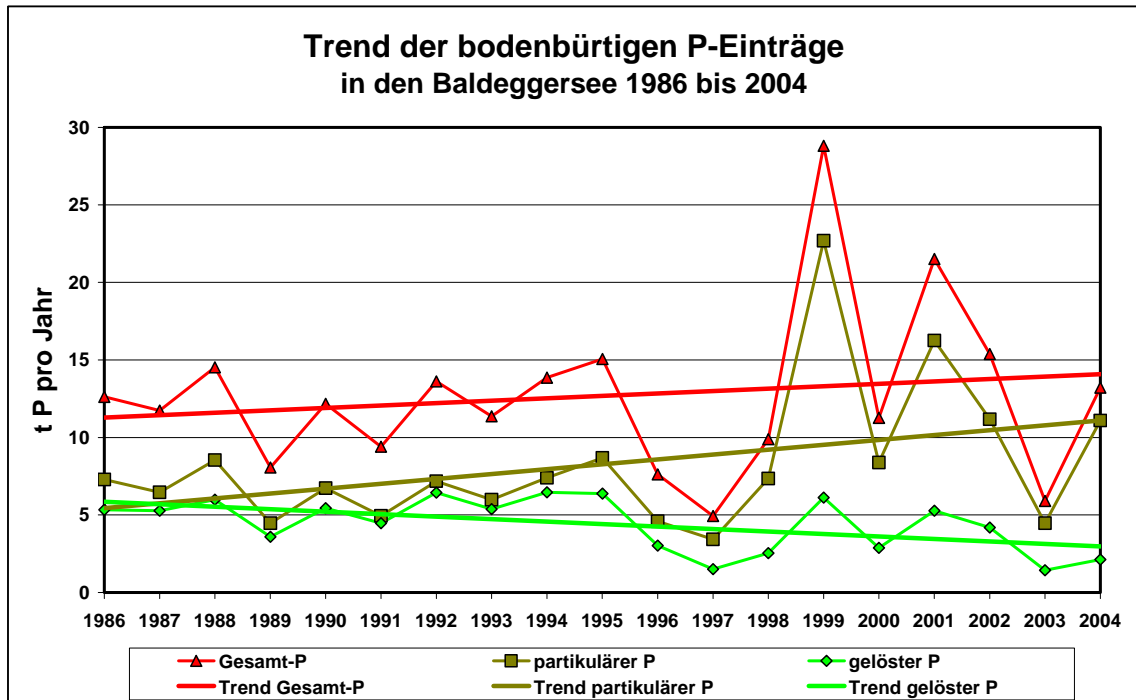
Abbildung 11 Jährlicher Eintrag von gelöstem P aus den Teileinzugsgebieten in den Baldeggersee



4.2.4. Jährlicher Phosphoreintrag in den Baldeggersee

Wie aus der Abbildung 12 ersichtlich ist, nehmen die jährlichen Einträge an gelöstem P seit etwa 1995 deutlich ab. Markant ist hingegen der Anstieg des Eintrages von partikulärem P in den Baldeggersee während den letzten Jahren. Daraus resultiert für den Gesamt-P-Eintrag eine leichte Zunahme.

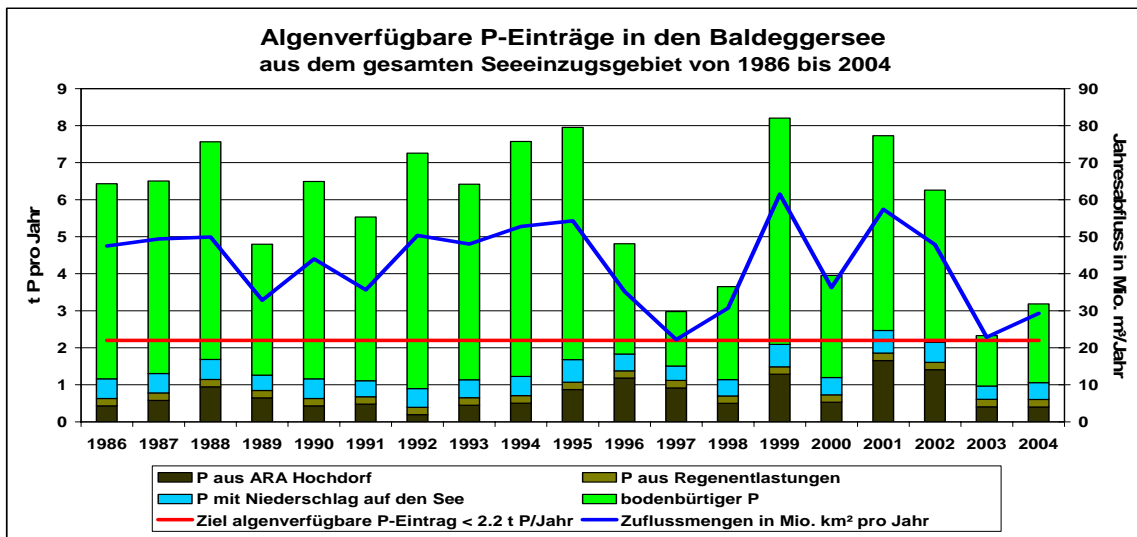
Abbildung 12 Jährlicher bodenbürtiger P-Eintrag in den Baldeggersee in Tonnen pro Jahr von 1986 bis 2004



Der Rückgang des Eintrages an gelöstem P ist ein Hinweis darauf, dass die Massnahmen in der Landwirtschaft [8] zur Verminderung der Abschwemmung und Auswaschung von Nährstoffen Wirkung zeitigen. Die markante Zunahme der Einträge an partikulärem P deutet aber auf eine verstärkte Bodenerosion und/oder auf einen weiteren Anstieg des P-Gehaltes in den obersten Bodenschichten hin. Es ist noch ungewiss, ob die massiv ansteigenden Frachten an partikulärem P im Seesediment zurückgehalten werden können. Eine zunehmende Rücklösung von P aus den Seesedimenten hätte für den zukünftigen Zustand des Baldeggersees fatale Folgen. Diese Gefahr bestünde insbesondere dann, wenn infolge Sparmassnahmen bei der Seebelüftung die sedimentnahen Wasserschichten nicht mehr genügend mit Sauerstoff versorgt würden.

Für den P- und Sauerstoffhaushalt im Baldeggersee ist der biologisch- oder algenverfügbare P von ausschlaggebender Bedeutung. In der Abbildung 13 ist der jährliche algenverfügbare P-Eintrag in den Baldeggersee dargestellt.

Abbildung 13 Jährlicher algenverfügbaren P-Eintrag in den Baldeggensee in Tonnen pro Jahr von 1986 bis 2004

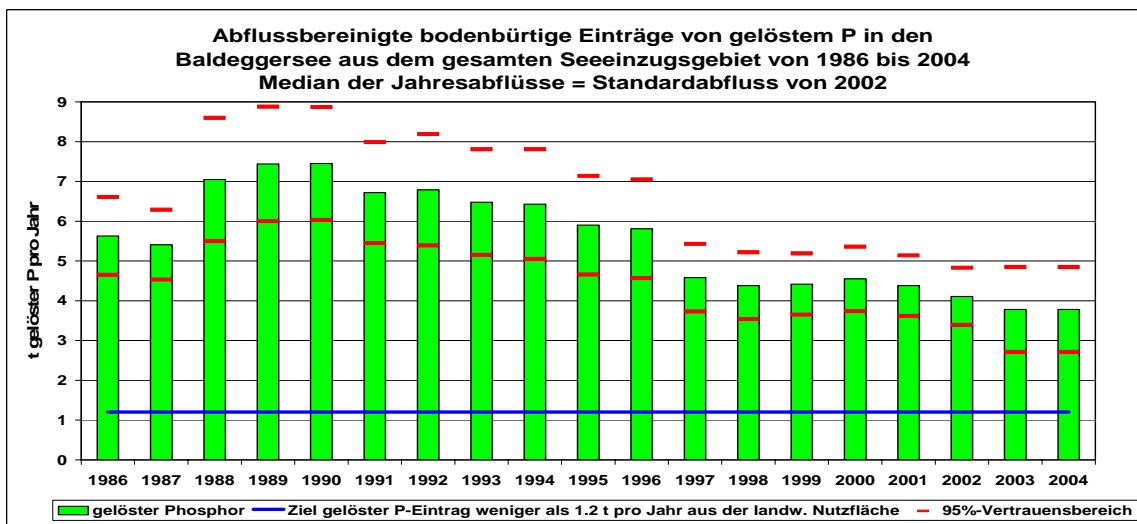


Die jährlichen algenverfügbaren P-Einträge in den Baldeggensee werden vom bodenbürtigen P-Eintrag dominiert. Je nach Witterungscharakter der einzelnen Jahre fallen diese Frachtanteile sehr unterschiedlich aus. Die P-Einträge aus der ARA Hochdorf waren in den Jahren 1995 bis 2002 um ein Mehrfaches höher als in den Jahren 1990 bis 1994 (siehe 3.1.2). Diese erhöhten P-Einträge haben die Gesundung des Baldeggensees um Jahre verzögert. Nachdem nun die technischen Möglichkeiten der Siedlungsentwässerung und Abwasserreinigung ausgeschöpft sind, können nur noch Massnahmen in der Landwirtschaft zu einer nachhaltigen Gesundung des Baldeggensees beitragen.

4.2.5. Zeitliche Entwicklung der abflussbereinigten Phosphoreinträge

Die P-Frachten in den Zuflüssen zum Baldeggensee schwanken stark in Abhängigkeit der sehr unterschiedlichen Jahresniederschlagsmengen und Niederschlagsintensitäten. Allfällige Trends in der Abschwemmung und Auswaschung von P werden deshalb von den Schwankungen im Niederschlag bzw. Abfluss überlagert. Im Gutachten der EAWAG [7] wird daher vorgeschlagen, die Entwicklung der P-Frachten mit den errechneten c-Q-Beziehungen der Jahre 1986 bis 2004 mit dem Medianabfluss (2002) modellmässig zu rechnen. Das Resultat dieser Modellrechnung ist in Abbildung 14 enthalten.

Abbildung 14 Abflussbereinigte bodenbürtige Einträge an gelöstem P in den Baldeggensee in Tonnen pro Jahr in den Jahren 1986 bis 2004



Diese Modellrechnung zeigt, dass seit 1990 die Massnahmen in der Landwirtschaft greifen, was sich in einer leichten, aber stetigen Abnahme der Frachten an gelöstem bodenbürtigen P erkennen lässt. Das Ziel, ein jährlicher Eintrag von weniger als 1.2 t gelöster P, wird nach dieser Modellrechnung - vorausgesetzt die Abnahme schreitet gleichförmig fort - in etwa 10 Jahren erreicht. Die statistische Unsicherheit der Berechnungsmethode, in der Abbildung 14 als 95%-Vertrauensbereich dargestellt, erlaubt erst nach etwa 6 Jahren eine gesicherte Aussage über die Änderung der Jahresfrachten. Eine langjährige Beobachtung der P-Einträge über die Zuflüsse ist daher unabdingbar. In den Tabellen 14 und 15 (Anhang) sind 95%-Vertrauensbereiche der P-Frachten für alle gemessenen Zuflüsse und die Resteinzugsgebiete enthalten.

4.2.6. Entwicklung der jährlichen Phosphorzufuhren von 1958 bis 2004

Unter Zuhilfenahme der Daten früherer Untersuchungen kann die Entwicklung der P-Zufuhren in den Baldeggersee seit 1958 aufgezeigt werden (Tabelle 16). Durch Zusammenfassen der Daten aus mehrjährigen Perioden werden die jährlichen Witterungseinflüsse stark gedämpft.

Tabelle 16 Jährliche P-Zufuhren in den Baldeggersee in den Jahren 1958 bis 2004

Gesamt-P in Tonnen pro Jahr							
Jahr Quelle	1958 [11]	75-76 [5]	85-87 [12]	88-90 uwe	91-94 uwe	95-99 uwe	00-04 uwe
Abwasser aus ARA+Regenentlastung		4.01	2.00	0.87	0.61	1.15	1.08
Landwirtschaft Abschwemmung/Erosion		6.82	18.70	11.59	12.06	13.26	13.45
Niederschläge auf See		0.53	0.40	0.49	0.49	0.50	0.49
Total	9.6	11.35	21.10	12.95	13.16	14.91	15.02

gelöster P in Tonnen pro Jahr							
Jahr Quelle	1958 [11]	75-76 [5]	85-87 [12]	88-90 uwe	91-94 uwe	95-99 uwe	00-04 uwe
Abwasser aus ARA+Regenentlastung		3.30	1.30	0.24	0.20	0.35	0.54
Landwirtschaft Abschwemmung/Erosion		5.46	6.80	5.01	5.69	3.92	3.18
Niederschläge auf See		0.30	0.20	0.32	0.31	0.32	0.31
Total	7.0	9.1	8.3	5.57	6.20	4.59	4.03

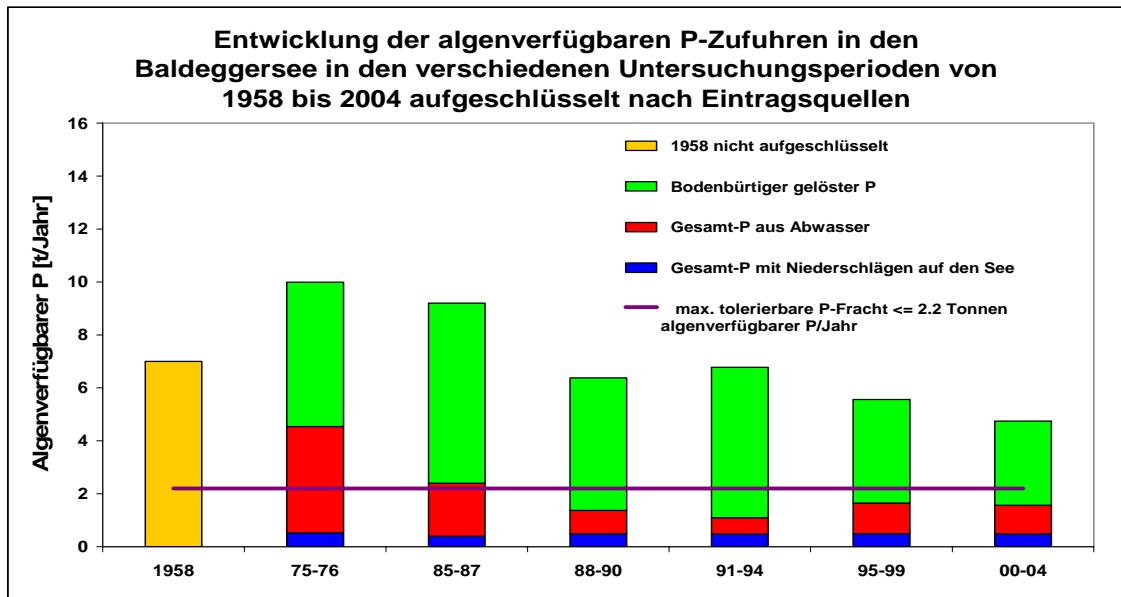
Algenverfügbarer P in Tonnen pro Jahr							
Jahr Quelle	1958 [11]	75-76 [5]	85-87 [12]	88-90 uwe	91-94 uwe	95-99 uwe	00-04 uwe
Abwasser aus ARA+Regenentlastung <i>Anteil</i>		4.01 <i>40%</i>	2.00 <i>22%</i>	0.87 <i>14%</i>	0.61 <i>9%</i>	1.15 <i>21%</i>	1.08 <i>23%</i>
Landwirtschaft Abschwemmung/Erosion <i>Anteil</i>		5.46 <i>55%</i>	6.80 <i>74%</i>	5.01 <i>79%</i>	5.69 <i>84%</i>	3.92 <i>70%</i>	3.18 <i>67%</i>
Niederschläge auf See		0.53	0.40	0.49	0.49	0.50	0.49
Total	7.0	10.00	9.20	6.38	6.78	5.57	4.75
Zielwert	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2

Der Anteil an algenverfügbarem P aus dem Abwasser hat sich von der Untersuchungsperiode 1975/76 zur Periode 2000/04 von 40% auf 23% reduziert.

In der Abbildung 15 sind die algenverfügbaren P-Zufuhren zum Baldeggersee für die Jahre 1958 bis 2004, zusammengefasst als Mittelwerte von 2- bis 5-jährigen Untersuchungsperioden, dargestellt. Seit der Untersuchungsperiode 1975/76 nehmen die algenverfügbaren P-Zufuhren deutlich ab. Der Zielwert von weniger als 2.2 t algenverfügbarer

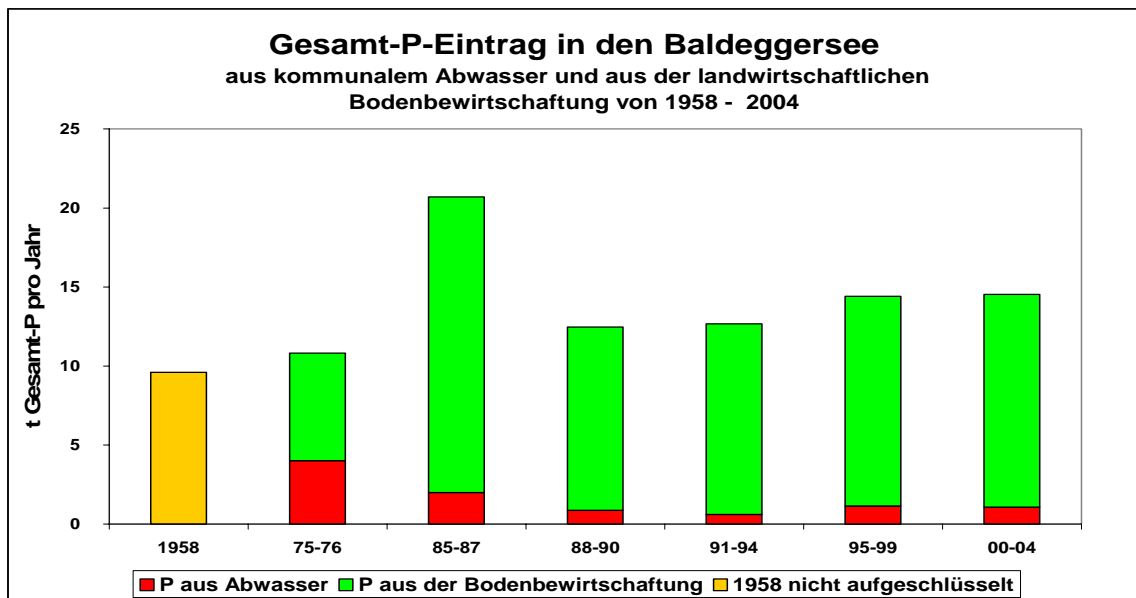
P-Zufuhr pro Jahr wird jedoch bei weitem noch nicht erreicht. Weitere Massnahmen in der Landwirtschaft, aber auch eine sorgfältigere Abwassersammlung und –reinigung, sind im Seeinzugsgebiet dringend nötig.

Abbildung 15 Algenverfügbare P-Zufuhren in den Baldeggensee in Tonnen pro Jahr von 1958 bis 2004



Die Abbildung 16 zeigt die Periodenmittelwerte der jährlichen Gesamt-P-Einträge in den Baldeggensee aus kommunalem Abwasser und durch Auswaschung, Abschwemmung und Erosion aus den landwirtschaftlich genutzten Böden von 1958 bis 2004.

Abbildung 16 Gesamt-P-Eintrag in den Baldeggensee mit kommunalem Abwasser und aus der landwirtschaftlichen Bodenbewirtschaftung in Tonnen pro Jahr von 1958 bis 2004



Die abwasserbürtigen Gesamt-P-Zufuhren haben von der Untersuchungsperiode 1975/76 bis zur Untersuchungsperiode 1991/94 erfreulich abgenommen, sind seither aber leider wieder deutlich angestiegen. Weitere Massnahmen im Bereich der Siedlungsentwässerung und der Abwasserreinigung sind zum Schutze des Baldeggensees dringend notwendig. Zudem sind Massnahmen zu treffen, um die durch die Ausweitung der Siedlungsgebiete entstehenden Beeinträchtigungen des Wasserkreislaufes zu ent-

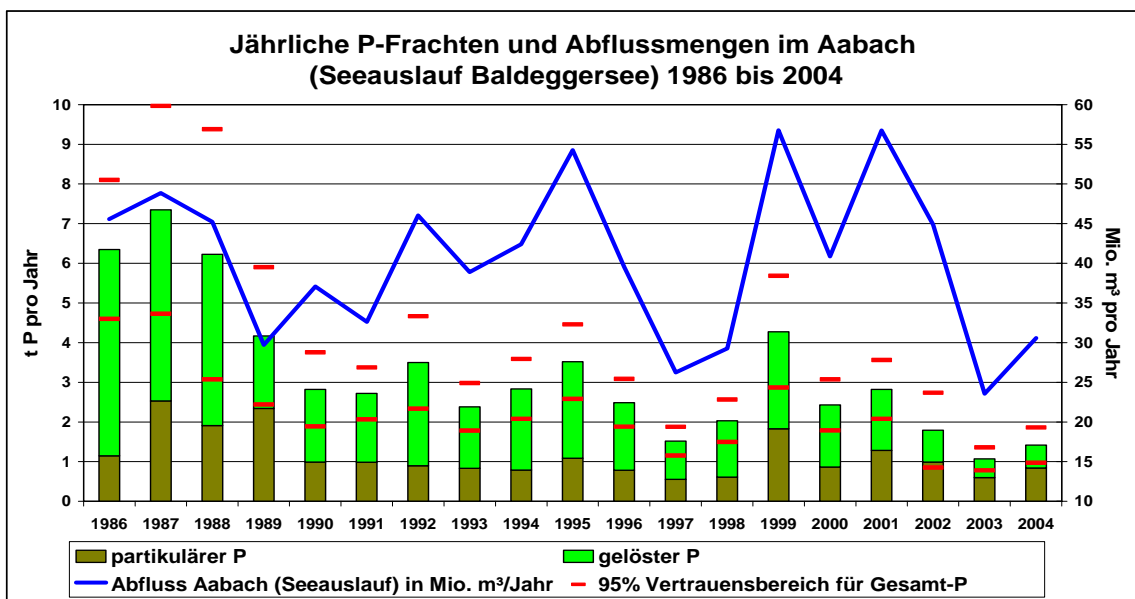
schärfen und die lokalen Wasserlebensräume ökologisch aufzuwerten. Die Generelle Entwässerungsplanung ist dazu ein wichtiges Instrument.

Die Abbildung 16 zeigt mit aller Deutlichkeit, dass die bodenbürtigen Gesamt-P-Einträge infolge der weiteren Intensivierung der landwirtschaftlichen Bodennutzung noch immer zunehmen. Eine Trendumkehr ist nicht in Sicht.

4.3. Phosphorexport über den Aabach

Die P-Frachten, welche aus dem Baldeggersee mit dem Aabach in den Jahren 1986 bis 2004 exportiert wurden, sowie die Abflussmengen des Aabachs sind in der Tabelle 17 (Anhang) enthalten und in Abbildung 17 dargestellt. Deutlich ist ein Rückgang der Jahresfrachten seit den 80-er Jahren sichtbar. Auffällig ist auch die Abnahme des gelösten P gegenüber dem partikulären P, ein Zeichen dafür, dass im Baldeggersee immer weniger algenverfügbaren P vorhanden ist.

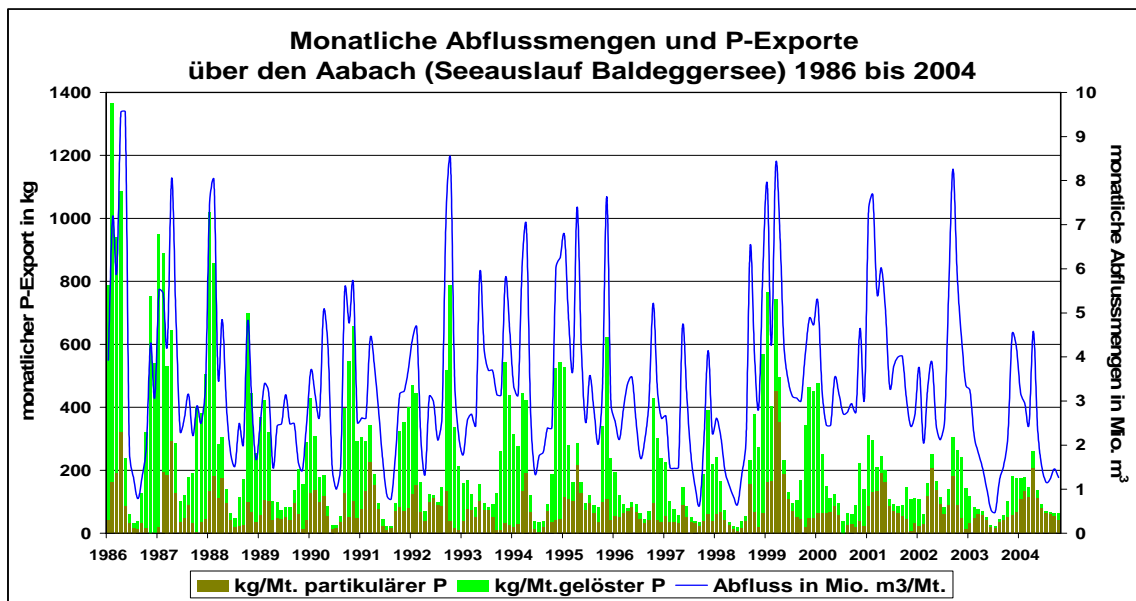
Abbildung 17 Jährliche Abflussmengen und P-Frachten im Aabach von 1986 bis 2004



Der Aabach ist nicht nur der Auslauf des Baldeggersees, sondern gleichzeitig der wichtigste Zufluss zum Hallwilersee. Soll die Sanierung des Hallwilersees gelingen, darf künftig die Gesamt-P-Fracht, welche mit dem Aabach in den Hallwilersee eingetragen wird, nicht mehr als 0.8 t pro Jahr betragen. Dieses Ziel wird bei weitem noch nicht erreicht. Ohne weitere Gesundung des Baldeggersees bleibt auch die Gesundung des Hallwilersees chancenlos.

Die monatlichen P-Exporte zeigen deutliche Zyklen (Abbildung 18). Von Mai bis Oktober nimmt die P-Konzentration in den oberflächennahen Schichten und somit im Seeabfluss stark ab. Dies führt zu relativ kleinen Monatsfrachten, überwiegend in Form von partikulärem P. Während der Stagnationsphase im Sommerhalbjahr wird P beim Algenwachstum in die Biomasse eingebaut und sinkt mit dem absterbenden Plankton auf den Seegrund ab. Die Konzentration des gelösten P in der oberflächennahen Wasserschicht (Epilimnion) und damit auch im Seeabfluss nimmt stark ab. Bei einsetzender Zirkulation (Dezember) gelangt das nährstoffreichere Tiefenwasser wieder an die Oberfläche und damit in den Seeabfluss, den Aabach. Die Frachten an gelöstem P nehmen dabei stark zu. Im Frühling (März – April) setzt bei zunehmender Sonneneinstrahlung starkes Algenwachstum ein. Der gelöste P wird im Baldeggersee zunehmend in die Biomasse eingebaut und wird bei den Messungen im Aabach zu einem wesentlichen Teil als partikulärer P erfasst.

Abbildung 18 Monatliche Abflussmengen und P-Exporte über den Aabach 1986 bis 2004



Auffallend tief sind die monatlichen P-Exporte im Spätsommer der Trockenjahre 1998 und 2003. Durch das lang anhaltende schöne Wetter und die damit verbundene intensive Sonneneinstrahlung, aber auch infolge geringer P-Einträge durch die Zuflüsse, wurde der P fast vollständig in die Biomasse eingebaut und sedimentiert.

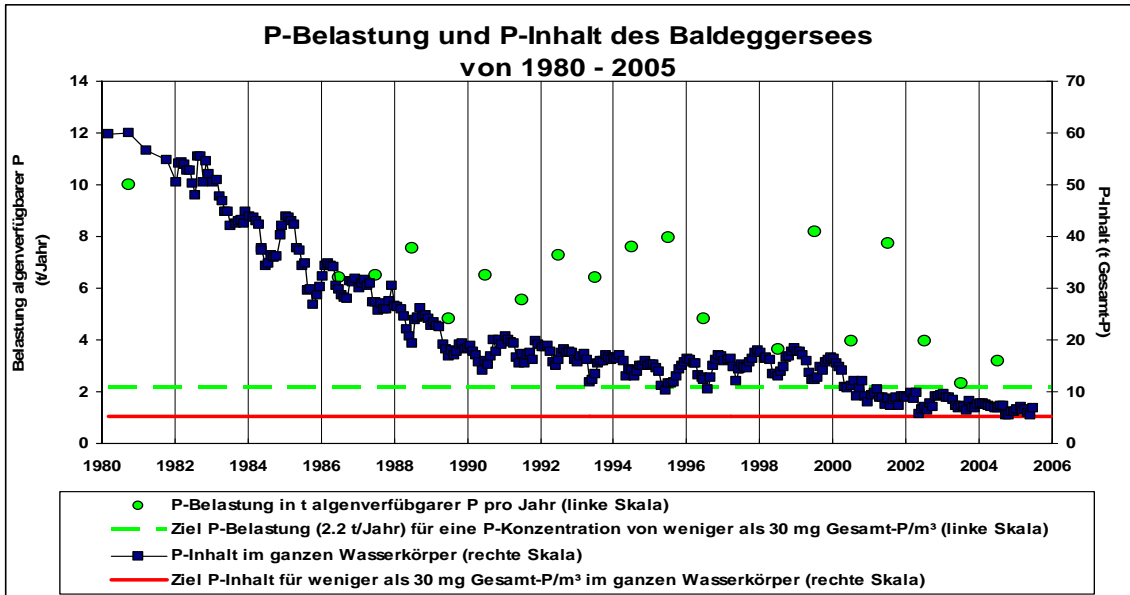
5. Reaktion des Baldeggensees

Die mittlere Wasseraufenthaltszeit im Baldeggensee beträgt 4.2 Jahre. Daher wirken sich die P-Einträge in den See erst nach 3 Jahren auf den P-Inhalt des Sees aus [7].

5.1. Phosphorbelastung, Phosphorinhalt im See und Nettosedimentation

Unter der P-Belastung des Baldeggensees versteht man die jährlich eingetragene algenverfügbare P-Menge [7]. Die berechneten P-Frachten, die in den Baldeggensee gelangen, sind in Abbildung 19 als grüne Punkte eingetragen. Für die Jahre vor 1980 liegen nur grobe Belastungs-Abschätzungen vor. In der Abbildung 19 ist daher anfangs 1980 die Frachtabschätzung von 1975/76 (Tabelle 16) eingetragen. Die grün gestrichelte Linie markiert das Ziel der P-Belastung von weniger als 2.2 t P pro Jahr, bei welcher sich nach Modellrechnungen der EAWAG [7] eine P-Konzentration von weniger als 30 mg Gesamt-P pro m³ einstellen wird. Dargestellt ist mit den blauen Quadraten der P-Inhalt als t Gesamt-P im ganzen Wasserkörper des Baldeggensees, wie er durch monatliche Tiefenprofile ermittelt wird. Die rote Linie schliesslich markiert den Gesamt-P-Inhalt von 5.2 t im Baldeggensee, entsprechend einer Konzentration von 30 mg Gesamt-P pro m³.

Abbildung 19 P-Belastung und P-Inhalt des Baldeggersees von 1980 bis 2005



Von 1990 bis 2000 blieb der P-Inhalt im Baldeggersee annähernd konstant. Seit 2000 kann ein deutlicher Rückgang des P-Inhaltes festgestellt werden. Für Schlussfolgerungen, ob das 2000 gestartete P-Projekt oder lediglich die trockenen Jahre 1997, 1998, 2003 und 2004 zum messbaren P-Rückgang im Baldeggersee beigetragen haben, ist es noch zu früh. Solange die landwirtschaftlich genutzten Böden noch massiv mit P überdüngt sind, könnten einige regenreiche Jahre wegen zusätzlicher P-Einträge infolge erhöhter Auswaschung und Abschwemmung dieser mit P angereicherten Böden zu einem raschen Wiederanstieg der P-Konzentration im Baldeggersee führen.

Unter der P-Nettosedimentation versteht man den Anteil des in den Baldeggersee eingebrachten P, welcher definitiv ins Sediment eingebaut wird. Die Nettosedimentation wird aus dem Eintrag des algenverfügbaren P, abzüglich des mit dem Aabach aus dem Baldeggersee ausgetragenen Gesamt-P und der Änderung des P-Inhaltes im freien Wasser des Baldeggersees berechnet (Tabelle 18).

Tabelle 18 Eintrag und Austrag, Inhaltsänderung und Nettosedimentation von P in Tonnen pro Jahr im Baldeggersee von 1986 bis 2004

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Eintrag algenverfügbarer P	6.4	6.5	7.6	4.8	6.5	5.5	7.3	6.4	7.6	8.0	4.8	3.0	3.7	8.2	4.0	7.7	6.3	2.3	3.2
- Austrag Gesamt-P	6.3	7.3	6.2	4.2	2.8	2.7	3.5	2.4	2.8	3.5	2.5	1.5	2.0	4.3	2.4	2.8	1.8	1.1	1.4
- Inhaltsänderung Gesamt-P	1.6	-1.3	-6.6	-5.8	0.8	0.0	-2.8	0.0	-1.2	0.7	1.3	1.0	0.5	-1.8	-7.9	0.2	0.5	-1.7	-1.3
= Nettosedimentation	-1.5	0.5	8.0	6.4	2.9	2.8	6.6	4.0	6.0	3.8	1.0	0.5	1.2	5.7	9.5	4.7	4.0	2.9	3.1

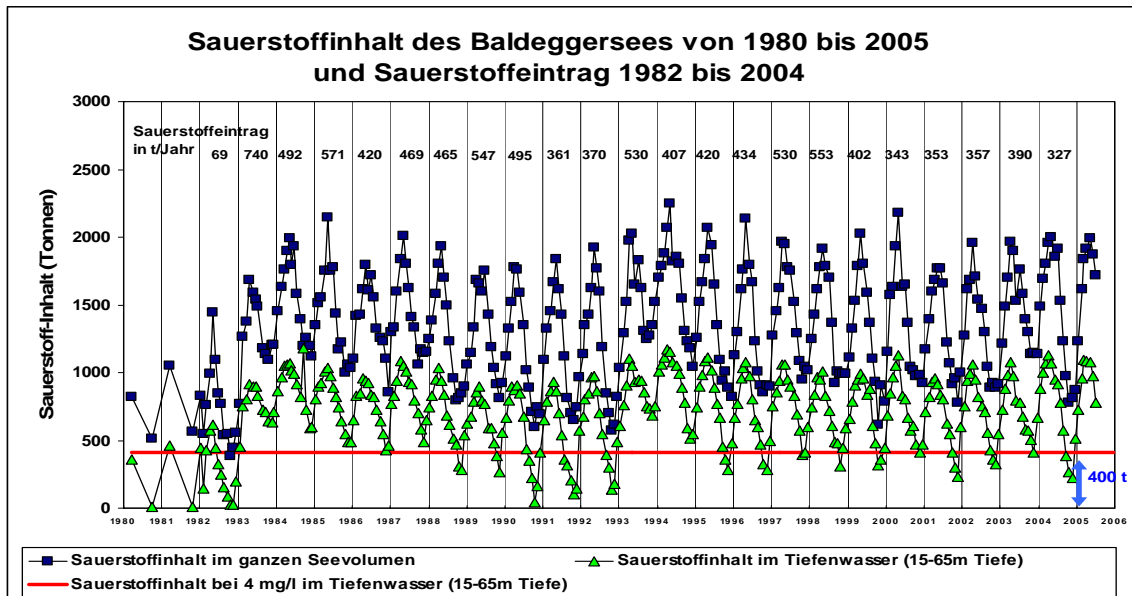
Besonders erwähnenswert sind die grossen Nettosedimentationsmengen der Jahre 1999 und 2000. Sie wurden infolge von Intensivniederschlägen und dem damit verbundenen übermässigen Eintrag an Gesamt-P (28.8 t im Jahre 1999) in den See verursacht.

5.2. Sauerstoffinhalt des Baldeggersees

Der leichte Rückgang der P-Konzentration im Baldeggersee hat die Algenproduktion im Sommerhalbjahr wenig beeinflusst. Noch immer ist die Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser sehr hoch. Ohne den Eintrag von jährlich gegen 400 t Sauerstoff ins Tiefenwasser wäre der Baldeggersee unterhalb von 15 m Tiefe im Spätsommer ohne Sauerstoff. Die Seebelüftung muss weiter betrieben werden. Bei einem weiteren deutlichen Rückgang der P-Konzentration im See kann voraussichtlich in einigen Jahren anstelle von Rein-

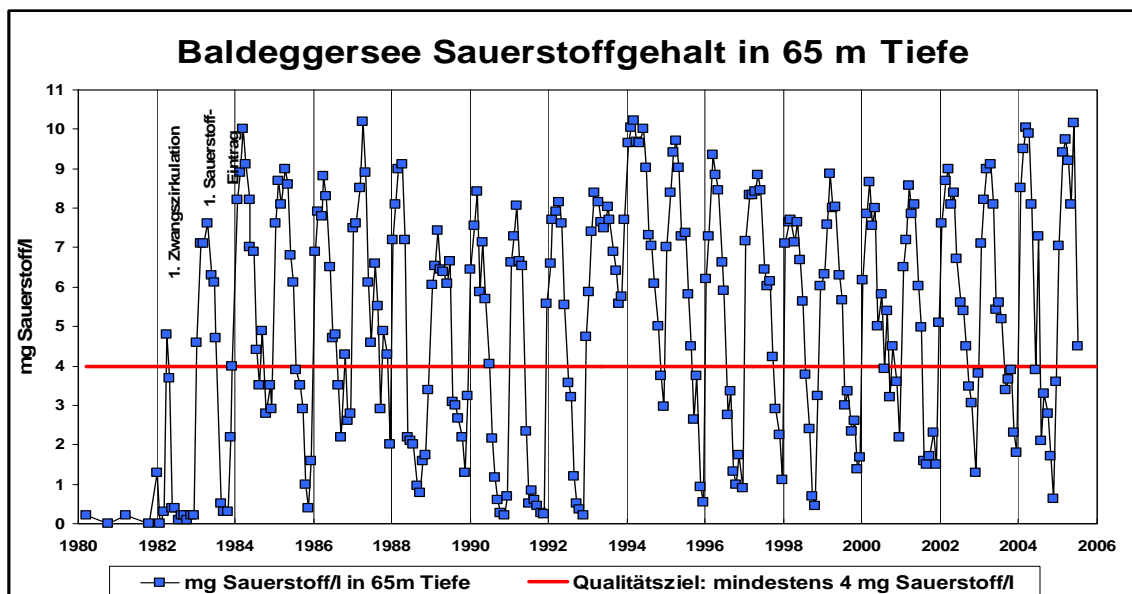
sauerstoff während der Sommermonate Druckluft über die 6 Diffusoren eingetragen werden. Dies wird jedoch noch während Jahrzehnten notwendig sein, um die grossen Mengen an anaeroben Sedimenten mit Sauerstoff zu versorgen. Erst wenn diese Sedimente aufoxydiert sind, ist die Gefahr einer verstärkten Rücklösung von P aus dem Seesediment gebannt.

Abbildung 20 Sauerstoffinhalt des Baldeggersees von 1980 bis 2005 sowie Sauerstoffeintrag von 1982 bis 2004



Die Abbildung 20 zeigt den Sauerstoffinhalt im ganzen Seevolumen des Baldeggersees sowie im Tiefenwasser ab einer Tiefe von 15 m bis zum Seegrund und die jährlich eingebrachten Sauerstoffmengen. Am Seegrund des Baldeggersees kann trotz der Seebelüftung jeweils im Herbst das Ziel von jederzeit und überall mindestens 4 mg Sauerstoff pro Liter, wie die Abbildung 21 zeigt, nicht eingehalten werden.

Abbildung 21 Sauerstoffkonzentration in mg/l im Baldeggersees in 65 m Tiefe von 1980 bis 2005



6. Phosphorbilanz für den Baldeggersee

Die Tabelle 19 zeigt die Bilanz des Gesamt-P im Baldeggersee.

Tabelle 19 Eintrag, Austrag und Rückhalt von P im Baldeggersee in Tonnen pro Jahr von 1986 bis 2004

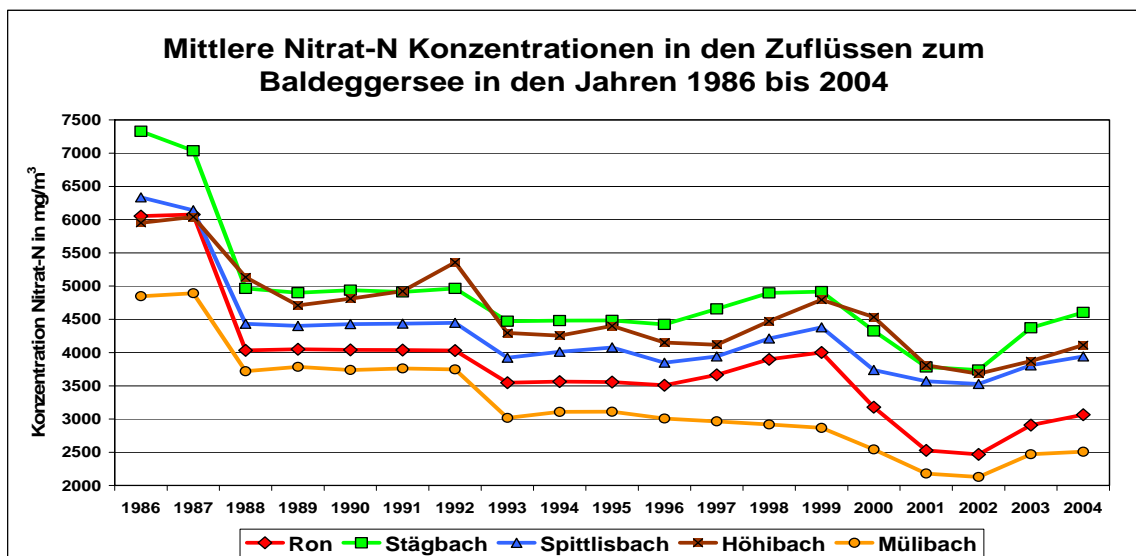
Gesamt-P-Bilanz Baldeggersee in t pro Jahr																			
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Einträge																			
aus landwirtschaftlichen Böden	12.6	11.7	14.5	8.1	12.2	9.4	13.6	11.4	13.9	15.1	7.6	4.9	9.9	28.8	11.3	21.5	15.4	5.9	13.2
aus ARA Hochdorf	0.4	0.6	0.9	0.6	0.4	0.5	0.2	0.5	0.5	0.9	1.2	0.9	0.5	1.3	0.5	1.7	1.4	0.4	0.4
von Regenerntlastungen	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Deposition auf See	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4	0.4	0.6	0.5	0.6	0.5	0.4	0.5
Total Einträge	13.7	13.0	16.1	9.3	13.3	10.5	14.5	12.6	15.1	16.8	9.5	6.4	11.0	30.9	12.5	24.0	17.5	6.9	14.3
Export über Aabach	6.3	7.3	6.2	4.2	2.8	2.7	3.5	2.4	2.8	3.5	2.5	1.5	2.0	4.3	2.4	2.8	1.8	1.1	1.4
Inhaltsänderung im freien Wasser	1.6	-1.3	-6.5	-5.8	0.8	0.0	-2.9	0.1	-1.2	0.6	1.3	1.0	0.5	-1.8	-7.9	0.2	0.5	-1.7	-1.3
P-Rückhalt im Sediment	5.8	7.0	16.4	10.9	9.7	7.8	13.9	10.1	13.5	12.7	5.7	3.9	8.5	28.4	18.0	21.0	15.2	7.5	14.2

Von 1986 bis 2004 sind 268 t Gesamt-P in den Baldeggersee eingetragen worden, davon stammen rund 90% aus den landwirtschaftlich genutzten Böden. Rund 62 t P wurden über den Seeauslauf, den Aabach, in den Hallwilersee ausgeschwemmt. In derselben Zeitspanne hat der P-Inhalt des Baldeggersees im freien Wasser um 24 t abgenommen. Im Seesediment wurden folglich 230 t Phosphor eingelagert. Pro m² Seegrund sind somit seit 1986 etwa 44 g P deponiert worden. Ob diese enorme P-Menge auf immer im Sediment verbleibt, ist ungewiss. Befürchtungen, dass insbesondere bei ungenügender Sauerstoffversorgung der sedimentnahen Wasserschichten eine verstärkte Rücklösung einsetzen könnte, sind berechtigt.

7. Stickstoffbilanz für den Baldeggersee

In den Zuflüssen wurde seit 1986, allerdings mit Unterbrüchen von Mitte 1987 bis 1988 und 1991 bis 1994, Ammonium-N und Nitrat-N mit demselben Untersuchungsprogramm wie beim P gemessen. Die Messunterbrüche wurden mit den Konzentrations-/Abflussbeziehungen der vor- und nachgelagerten Messperioden kompensiert. Die Jahresfrachten der einzelnen Zuflüsse sowie die Hochrechnung auf das ganze Seeinzugsgebiet sind in Tabelle 20 (Anhang) enthalten. Beim N-Eintrag in den Baldeggersee durch die Zuflüsse dominiert der Nitrat-N, er stammt überwiegend aus der Düngung der landwirtschaftlichen Nutzflächen. In Abbildung 22 sind die aus den Jahresfrachten und den Jahresabflussmengen der untersuchten Zuflüsse ermittelten Nitrat-N-Konzentrationen von 1986 bis 2004 dargestellt.

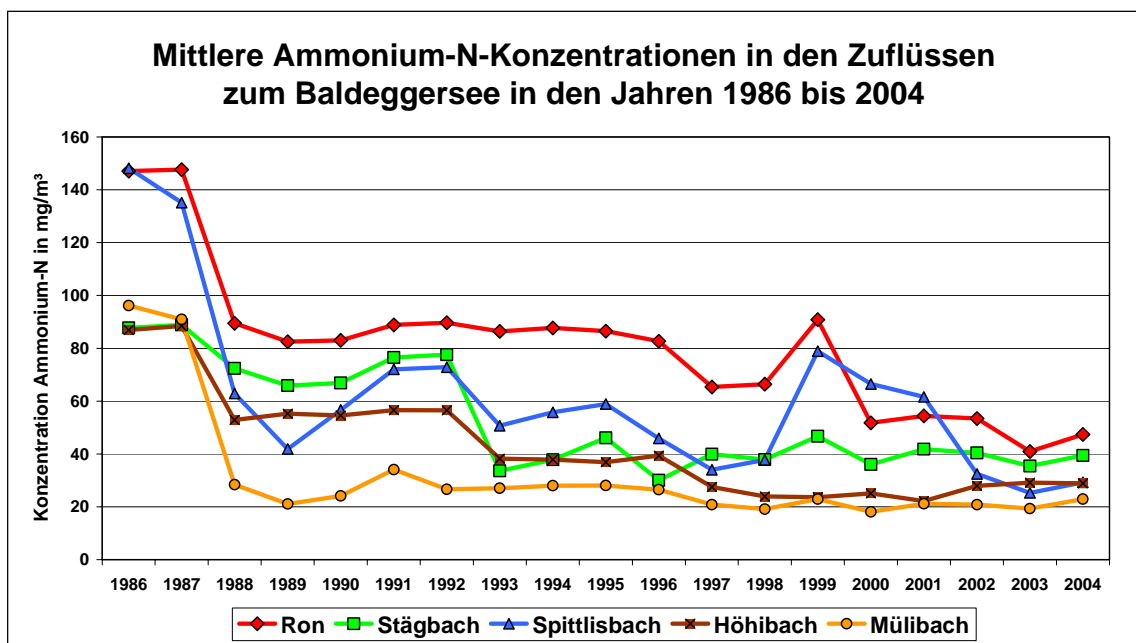
Abbildung 22 Mittlere Nitrat-N-Konzentrationen in den Zuflüssen zum Baldeggersee in mg pro m³ in den Jahren 1986 bis 2004



Der Stägbach, der Höhibach und der Spittlisbach fallen durch hohe, die Ron und der Mülibach dagegen durch eher tiefe Nitrat-N-Konzentrationen auf. Der markante Rückgang der Nitrat-N-Konzentration in der Ron zwischen 1999 und 2001 kann mit der Stilllegung der ARA Rain (August 2000) und dem Ableiten der kommunalen Abwässer zur ARA Eschenbach-Inwil erklärt werden.

In weit geringerem Masse als Nitrat-N wird dem Baldeggersee noch Ammonium-N mit den Zuflüssen zugeführt. Ammonium-N stammt vorwiegend aus häuslichem Abwasser aber auch aus frischem Hofdünger. Die Abbildung 23 zeigt die mittleren Ammonium-N-Konzentrationen der untersuchten Zuflüsse. Seit Messbeginn im Jahr 1986 haben die Ammonium-N-Konzentrationen in allen untersuchten Bächen deutlich abgenommen: ein Hinweis auf die erfolgreiche Abwassersanierung in Siedlungsgebieten und auch im ländlichen Raum.

Abbildung 23 Mittlere Ammonium-N-Konzentrationen in den Zuflüssen zum Baldeggersees in mg pro m³ in den Jahren 1986 bis 2004



In Anlehnung an die Arbeit von Höhener [14] wurde die N-Bilanz des Baldeggersees abgeschätzt. Die N-Einträge in den Baldeggersee setzen sich aus den ermittelten Nitrat- und Ammonium-N-Frachten der Zuflüsse, den Nitrat- und Ammonium-N-Frachten aus der ARA Hochdorf sowie rund 2.5 t N pro Jahr aus Regenentlastungen, welche direkt in den See münden, zusammen. Die N-Deposition auf den See wurde mit 1.56 t N pro km² und Jahr berücksichtigt und die N-Nettosedimentation wird mit 3.3 t N pro km² (Seefläche 4.7 km² bei über 10 m Tiefe) und Jahr angenommen. Die Inhaltsänderung des anorganischen N im See wurde aus den Tiefenprofilen von Nitrat, Ammonium und Nitrit berechnet. Die Ermittlung der Inhaltsänderung im See an organischem N erfolgte aus dem partikulären P über das Redfield-Verhältnis. Dabei wird postuliert, dass in der Planktonbiomasse pro Mol P 16 Mole N vorhanden seien, was pro g partikulärem P 7.23 g organischem N entspricht.

Die N-Exporte aus dem Baldeggersee setzten sich aus den ermittelten Nitrat-N-Frachten beim Seeauslauf (Aabach Hitzkirch) sowie dem mit der Planktonbiomasse ausgeschwemmten N zusammen. Dabei wird wiederum das Redfield-Verhältnis verwendet. Die Tabelle 21 enthält die N-Bilanz für den Baldeggersee für die Jahre 1986 bis 2004.

Tabelle 21 N-Bilanz für den Baldeggersee für die Jahre 1986 bis 2004

N-Bilanz Baldeggersee in t N pro Jahr																			
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Einträge																			
landwirtschaftl. Nutzflächen	298.8	307.8	221.5	143.6	192.4	155.8	223.0	182.8	203.3	212.8	132.1	85.9	124.4	255.4	127.1	170.2	137.7	73.7	99.9
ARA Hochdorf	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.2	35.8	32.6	39.5	42.8	53.1	33.5	38.7	39.0	44.1
Regenentlastungen	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Deposition auf See	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
Total Einträge	347.9	357.0	270.6	192.8	241.5	204.9	272.1	231.9	252.4	262.1	177.0	127.6	173.0	307.2	189.3	212.7	185.5	121.8	153.1
Nettosedimentation	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6
Inhaltsänderung im See																			
anorganischer N	3.7	-46.8	33.1	-109.6	0.6	-11.2	66.6	-6.7	-45.4	6.3	-15.8	14.8	14.8	30.3	-6.9	-31.2	3.9	7.0	-15.8
organischer N	2.6	9.0	-10.8	17.6	-10.0	13.7	-20.6	1.1	0.7	4.7	3.7	2.0	-3.2	-5.9	5.2	1.2	-4.6	11.9	4.5
Export Nitrat-N	71.4	101.8	108.9	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	72.3	51.3	27.6	28.7	63.9	46.2	59.4	37.7	24.4	30.7
Export org. N	8.3	18.3	13.8	16.9	7.1	7.1	6.5	6.0	5.7	7.8	5.7	4.0	4.4	13.2	6.3	9.3	7.2	4.3	6.1
Total Export mit Aabach	79.7	120.1	122.7	96.9	87.1	87.1	86.5	86.0	85.7	80.2	56.9	31.6	33.1	77.1	52.5	68.7	44.9	28.8	36.8
Bilanz bzw. Denitrifikation	246.3	259.1	110.0	172.2	148.1	99.7	124.0	135.8	195.8	155.3	116.6	130.1	112.7	190.2	122.9	158.5	125.7	58.5	112.0
Denitrifikation in %	71%	73%	41%	89%	61%	49%	46%	59%	78%	59%	66%	102%	65%	62%	65%	75%	68%	48%	73%

Die Daten zeigen, dass in niederschlagsreichen Jahren (1994, 1995, 1999 und 2001) die N-Einträge sehr hoch sind. Die Inhaltsänderungen von organischem und anorganischem N im See sind uneinheitlich. Der N-Export über den Aabach in den Hallwilersee hat massiv von rund 120 t in den Jahren 1987/88 auf rund 40 t in den Jahren 2002/04 abgenommen. Die Denitrifikation, das heisst der Abbau vom anorganisch oder organisch gebundenen N zum elementaren N, beträgt im Baldeggersee rund 70%.

8. Pestiziduntersuchungen

Vom März bis September 2005 wurden in Zusammenarbeit mit dem Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, Abteilung für Umwelt, Pestiziduntersuchungen durchgeführt. In den Zuflüssen zum Baldeggersee (Ron vor und nach ARA Hochdorf, Spittlisbach und Mülibach bei Ludigen, hier nur am 19. Mai 2005), dem Seeauslauf Baldeggersee (Aabach bei Hitzkirch), den Zuflüssen zum Hallwilersee (Altwiserbach, Vorderbach im Gitzitobel und Meisterschwander Dorfbach, welcher als Fahrwangerbach in Schongau, Kt. Luzern, entspringt) sowie im Seeauslauf Hallwilersee (Aabach beim Schloss Hallwil und bei Niederlenz) an 6 Tagen Stichproben entnommen und im Labor der Rheinüberwachungsstation (Amt für Umwelt und Energie, Baudepartement des Kantons Basel-Stadt) auf Pestizidspuren untersucht. Das Analysenprogramm umfasste 77 bekannte Pestizide (Herbizide, Fungizide, Insektizide). Eine weitere Probe wurde an das DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW) in Karlsruhe versandt, um die Konzentration von Glyphosat und dessen Abbauprodukt AMPA (Aminomethylphosphonsäure) zu bestimmen.

Hinsichtlich Pestizidspuren in unseren Gewässern verlangt die Gewässerschutzverordnung, dass die Konzentration von Einzelstoffen den Wert von 0.1 µg/l nicht überschreiten darf. In Tabelle 22 sind die Untersuchungsergebnisse aufgrund der Häufigkeit der gefundenen Pestizidspuren zusammengefasst. Die Zahl vor dem Schrägstrich entspricht der Anzahl gefundener Pestizide mit einer Konzentration über 0.1 µg/l, die Zahl nach dem Schrägstrich die Anzahl der gefundenen Pestizide mit einer Konzentration zwischen der Nachweisgrenze und dem kritischen Wert von 0.1 µg/l.

Tabelle 22 Häufigkeit von Pestizidspuren in den beprobten Zuflüssen zum Baldegger- und Hallwilersee und im Aabach

Messstelle	Probedatum	30.03.2005	20.04.2005	19.05.2005	07.06.2005	06.07.2005	29.09.2005
Ron Hochdorf vor ARA		3/8	0/11	0/11	3/12	3/8	0/10
Ron Hochdorf nach ARA		3/10	2/13	1/12	3/13	5/9	1/10
Spittlisbach		1/3	1/13	1/11	3/11	1/7	2/7
Mülibach Ludigen				0/2			
Aabach Seeauslauf Baldeggersee		0/11	0/12	0/13	0/10	1/9	1/10
Altwiserbach		0/3	0/5	0/7	1/12	2/8	0/3
Vorderbach Gitzitobel		0/2	0/2	0/2	0/5	1/3	0/3
Dorfbach Meisterschwanden		1/5	1/5	0/5	0/9	1/6	0/4
Aabach Seeauslauf Hallwilersee		0/10	0/9	0/12	0/12	0/8	0/11
Aabach Niederlenz		0/14	0/12	0/14	0/16	0/13	0/13

Anzahl >= 0.1 µg/l / Anzahl Nachweise < 0.1 µg/l

Von den beprobten Seezuflüssen zeigt die Ron aufgrund der Häufigkeit der gefundenen Pestizide die grösste Belastung, gefolgt vom Spittlisbach, dem Meisterschwander Dorfbach und dem Altwiserbach. Eine verhältnismässig geringe Belastung wurde im Vorderbach (Gitzitobel) und im Mülibach (Ludigen) festgestellt. Die drei Messstellen am Aabach sind deutlich belastet.

In allen Proben wurde Atrazin und dessen Abbauprodukt Desethylatrazin gefunden. Wie die Tabelle 23 zeigt, traten die höchsten Konzentrationen im Juni und Juli in der Ron, im Spittlisbach und im Meisterschwander Dorfbach auf. Der kritische Wert von 0.1 µg/l wurde beim Atrazin 11 Mal und bei Desethylatrazin 2 Mal erreicht oder überschritten.

Tabelle 23 Konzentration von Atrazin und dessen Abbauprodukt Desethylatrazin (in Klammern) in µg/l

Messstelle	Probendatum	30.03.2005	20.04.2005	19.05.2005	07.06.2005	06.07.2005	29.09.2005
Ron Hochdorf vor ARA		0.035 (0.013)	0.018 (0.025)	0.025 (0.024)	0.180 (0.028)	0.290 (0.110)	0.047 (0.037)
Ron Hochdorf nach ARA		0.033 (0.012)	0.035 (0.023)	0.023 (0.018)	0.190 (0.030)	0.240 (0.120)	0.043 (0.035)
Spittlisbach		0.076 (0.014)	0.026 (0.024)	0.015 (0.019)	0.390 (0.033)	0.190 (0.074)	0.021 (0.025)
Mülibach Ludigen				0.007 (0.007)			
Aabach Seeauslauf Baldeggersee		0.071 (0.021)	0.065 (0.041)	0.060 (0.040)	0.065 (0.039)	0.100 (0.052)	0.110 (0.069)
Altwiserbach		0.006 (0.007)	0.006 (0.012)	0.016 (0.011)	0.033 (0.015)	0.100 (0.045)	0.080 (0.017)
Vorderbach Gitzitobel		0.007 (0.007)	0.007 (0.013)	0.007 (0.010)	0.017 (0.013)	0.130 (0.074)	0.014 (0.020)
Dorfbach Meisterschwanden		0.011 (0.012)	0.011 (0.020)	0.009 (0.010)	0.064 (0.018)	0.200 (0.039)	0.021 (0.026)
Aabach Seeauslauf Hallwilersee		0.060 (0.021)	0.055 (0.036)	0.052 (0.038)	0.059 (0.037)	0.059 (0.040)	0.077 (0.065)
Aabach Niederlenz		0.050 (0.020)	0.047 (0.035)	0.046 (0.032)	0.063 (0.030)	0.071 (0.049)	0.080 (0.063)

Literaturstudien [17] zeigen, dass die Nichteffektkonzentration (predicted no-effect concentration; PNEC) für Atrazin bei 0.05 µg/l liegt. Zur Festlegung dieses Wertes wurden Toxizitätsdaten für Fische, Wasserflöhe und Algen zusammengetragen. Algen zeigten dabei die grösste Empfindlichkeit. Somit ist nicht auszuschliessen, dass gewisse empfindliche Algenarten durch die festgestellten Atrazin-Konzentrationen in den Zuflüssen, dem Baldegger- und Hallwilersee und im Aabach beeinträchtigt werden. Die gemessenen hohen Atrazin-Konzentrationen sind nicht tolerierbar. Die Landwirtschaft ist gefordert, den Atrazin-Einsatz massiv zu reduzieren oder gänzlich darauf zu verzichten! Andere europäische Staaten haben den Einsatz von Atrazin aufgrund seiner ökologischen Bedenklichkeit vor über 10 Jahren verboten; noch immer wird dort dieses Pestizid mit langsam abnehmenden Konzentrationen in den Gewässern gemessen. Ein Verbot auch in der Schweiz ist überfällig.

In der Tabelle 24 sind die bei unseren Untersuchungen gefundenen Höchstkonzentrationen von Pestizidrückständen aufgelistet. Zusätzlich sind die Nachweisgrenzen und wo vorhanden die PNEC-Werte aufgeführt. Neben den sehr hohen Konzentrationen von Atrazin und seinem hauptsächlichsten Abbauprodukt Desethylatrazin fällt die sehr hohe Konzentration von Glyphosat und seinem Abbauprodukt AMPA auf. Beide Produkte sind Totalherbizide, d.h. die ganze Ackerfläche wird vor der Neuansaat totgespritzt um ein Überhandnehmen der Ackerunkräuter zu verhindern. Dies ist wohl mehr eine ökonomische aber sicher keine ökologische Massnahme. Bei allen Messstellen mit Ausnahme des Mülibaches und des Vorderbaches ist Diazinon gefunden worden. Diazinon ist ein Insektizid, welches vor allem im Gemüse- und Obstbau eingesetzt wird. Diazinon ist sehr giftig für Wasserorganismen und kann bei den gefundenen Konzentrationen, welche weit über dem PNEC-Wert liegen, eine schädliche Wirkung auf Wasserlebewesen haben. Gleiches gilt, wenn auch in etwas geringerem Ausmass, für Diuron in der Ron nach der ARA Hochdorf.

Eine Sonderstellung nimmt DEET ein. DEET ist ein sehr wirkungsvolles Insekten-Abwehrmittel und wirkt als Nervengift. Es ist in der Ron und dem Altwiserbach sowie an allen drei Messstellen des Aabaches gefunden worden. Problematisch bei diesem Pestizid ist, dass es nicht abbaubar ist. Einmal in der Umwelt freigesetzt, bleibt es dort für alle Zeiten. Es erstaunt nicht, dass DEET bereits in der Nordsee nachweisbar ist. Die Verwendung von DEET sollte weltweit verboten werden!

Tabelle 24

Höchstkonzentrationen der gefundenen Pestizide an den 10 Untersuchungsstellen sowie die Nachweisgrenzen und die bekannten PNEC-Werte. Die rot markierten Konzentrationen weisen auf die Überschreitung des Anforderungswertes gemäss Gewässerschutzverordnung hin.

Pestizid	µg/l	Nachweisgrenze	Hochdorf vor ARA	Hochdorf nach ARA	Ron Hochdorf	Spittsbach	Müllbach Ludigen	Baldeggersee	Aabach Seeslauf	Altwiserbach	Vorderbach Gitzlobel	Dorfbach Meister-schwanden	Hallwilersee	Aabach Seeslauf	Niederlenz	Aabach Niederlenz	PNEC
2,4-D		<.01	0.049	0.043	0.014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alachlor		>.005	-	-	-	-	-	0.011	-	-	-	-	0.008	-	-	-	-
AMPA		>.05	0.140	0.440	0.200	-	-	-	-	0.130	-	0.060	-	-	0.080	-	-
Atrazin		>.005	0.290	0.240	0.390	0.007	0.007	0.110	0.100	0.130	0.200	0.077	0.077	0.080	0.080	0.050	0.050
Bentazon		>.01	-	-	0.067	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DEET		>.005	0.046	0.069	0.013	-	-	0.019	0.007	-	-	-	0.026	0.038	0.038	0.038	-
Desethylatrazin		<.005	0.110	0.120	0.074	0.007	0.069	0.045	0.074	0.039	0.039	0.045	0.045	0.063	0.063	0.063	-
Desethylterbuthylazin		<.005	0.005	0.007	-	-	-	0.008	-	-	-	-	0.009	0.009	0.009	0.009	-
Desisopropylatrazin		<.005	0.025	0.041	0.019	-	-	0.028	0.022	0.023	0.023	0.012	0.021	0.029	0.029	0.029	-
Diazinon		<.005	0.110	0.130	0.082	-	-	0.012	0.011	-	-	0.007	0.009	0.031	0.031	0.031	0.003
Dichlorbenzamid		<.005	0.009	0.024	-	-	-	0.008	0.006	-	-	0.028	0.012	0.012	0.012	0.012	-
Diuron		<.025	-	0.063	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.006
Ethofumesate		<.005	0.015	0.013	0.021	-	-	0.005	0.011	-	-	0.009	-	-	-	-	-
Fenpropimorph		<.005	0.019	0.065	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fluoroxypyr		<.01	-	-	0.019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Glyphosat		<.05	0.160	0.210	1.900	-	-	-	-	0.220	-	-	-	-	0.060	-	-
Hexazinon		<.005	-	-	-	-	-	0.006	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Irgarol-1051		<.005	-	0.005	-	-	-	-	-	-	-	-	0.008	0.007	0.007	0.007	-
Isoproturon		<.025	0.089	0.079	0.064	-	-	-	-	-	-	0.130	-	0.038	0.038	0.038	0.300
MCPA		<.01	0.220	0.190	0.040	-	-	0.023	-	-	-	0.037	-	-	-	-	-
Mecoprop		<.01	0.027	0.099	0.055	-	-	0.034	-	-	-	-	-	0.013	0.013	0.013	5.000
Metalaxyl		<.005	-	-	-	-	-	-	-	-	0.034	-	-	-	-	-	-
Metamitron		<.005	0.020	0.024	0.110	-	-	0.027	0.058	-	-	0.036	-	-	-	-	-
Metazachlor		<.005	-	-	0.009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metolachlor		<.005	0.016	0.016	0.045	-	-	0.008	0.010	0.007	0.013	0.013	0.006	0.014	0.014	0.014	0.070
Orbencarb		<.005	-	-	0.018	-	-	-	-	-	-	-	-	0.016	0.016	0.016	-
Oxadixyl		<.005	-	-	-	-	-	-	0.007	-	-	-	0.007	0.007	0.007	0.007	-
Penconazol		<.005	-	-	-	-	-	0.005	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pirimicarb		<.005	0.006	0.008	0.009	-	-	-	0.018	-	-	-	-	0.005	0.005	0.005	-
Propazin		<.005	-	-	0.005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prosulfocarb		<.005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.005	-	-	-	-	-
Simazin		<.005	0.120	0.110	0.008	-	-	0.020	0.056	0.029	0.130	0.016	0.016	0.015	0.015	0.015	0.700
Tebuconazol		<.005	-	0.014	0.013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tebutam		<.005	-	-	-	-	-	0.005	-	-	-	-	0.008	0.011	0.011	0.011	-
Terbuthylazin		<.005	0.011	0.014	0.017	-	-	0.008	0.008	-	-	-	0.007	0.007	0.007	0.007	-
Terbutryn		<.005	0.011	0.027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.005	0.005	0.005	-

Diese Pestizid-Untersuchungen zeigen nur einen kleinen Ausschnitt aus der Problematik der Pestizide in den Gewässern. Das Unbehagen über die Pestizidfunde in unseren Oberflächengewässern vergrössert sich noch durch die Tatsache, dass oft die Abbauprodukte der Pestizide grössere Toxizität aufweisen können als die angewendeten Wirkstoffe selbst. Zudem ist wenig bekannt über Synergiewirkungen zwischen den verschiedenen Pestiziden und/oder deren Abbauprodukten.

9. Einfluss der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf den See und seine Zuflüsse

Seit der erfolgreich durchgeführten Abwassersanierung (bis ca. 1985) stammt der Hauptanteil der Nährstoffeinträge in den Baldeggersee aus der intensiv betriebenen Landwirtschaft. Von den 286 t Gesamt-P, welche von 1986 bis 2004 in den Baldeggersee eingetragen wurden, stammen 90% aus Düngerüberschüssen landwirtschaftlicher Nutzflächen, aus mangelhaften Entwässerungen landwirtschaftlicher Liegenschaften oder aus fehlerhaften Hofdüngereinrichtungen.

Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, lag die Tierbelastung im Einzugsgebiet des Baldeggersees 2004 mit 2.4 DGVE/ha weit über der ökologisch anzustrebenden „Soll-Tierbelas-

tung“ von 1.80 DGVE pro ha. Mit dem Einsatz von phosphorreduziertem Futter in der Schweinemast konnte in den letzten Jahren die massive Überdüngung der Böden allerdings deutlich reduziert werden.

Die in Abbildung 6 gezeigten sinkenden Trends der Abflussverhältnisse beim Spittlibach, Höhibach und Mülibach könnten ein Hinweis darauf sein, dass infolge neuer Ernteverfahren (Silierung) die Grünfütterproduktion massiv gesteigert wurde, was zu einer stärkeren Verdunstung und damit einem verstärkten Feuchteentzug des Bodens führt.

Der Anstieg des Anteils an partikulärem P in den untersuchten Zuflüssen seit 1990 (Abbildungen 8 und 12) könnte auf die zunehmende Bodenverdichtung und die dadurch verstärkte Erosion oder Abschwemmung zurückgeführt werden. Es besteht die Gefahr, dass durch das häufigere Befahren von Wiesland (6 – 7 Schnitte pro Jahr, Ballenpressen und -abtransport, Hofdüngeraustrag) das Erosions- und Abschwemmrisko ansteigt.

Die Abbildung 16 zeigt die starke Zunahme des Gesamt-P Eintrages in den Baldeggersee seit 1958. Der Grund für diese Zunahme liegt in der Anreicherung von P in den Böden [15]. Es ist die Aufgabe der Landwirtschaft, durch angepasste Massnahmen und eine nachhaltige Produktionsweise die P-Vorräte in den Böden abzubauen. Eine Reduktion der Einträge an Gesamt-P in den Baldeggersee ist zwingend notwendig, denn aus heutiger Sicht ist ungewiss, ob der im Seesediment abgelagerte P langfristig im Seesediment zurückgehalten werden kann. Eine rasche Rücklösung ist bei Sauerstoffmangel im Tiefenwasser möglich und hätte für den See fatale Folgen. Die Gesundheit des Baldeggersees ist also erst gesichert, wenn die P-Depots in den landwirtschaftlich genutzten Böden abgebaut sind und die P-Zufuhr in den Baldeggersee auf tiefem Niveau stabilisiert ist.

Seit den 1960er-Jahren wurden infolge massiv geförderter Tierproduktion im Kanton Luzern die landwirtschaftliche Nutzfläche mit P überversorgt. Bis in die 80er-Jahre wurde bezüglich P nahezu das Doppelte des Pflanzenbedarfs gedüngt. Erst der Zusammenbruch der Ökosysteme „Seen“ führte zu einem Umdenken in der Landwirtschaftspolitik. Ab Mitte der 80er-Jahre wurde versucht, durch freiwillige Massnahmen (Beratung) die Landwirte zu seeverträglichem Wirtschaften zu bewegen. Ab 1999 ermöglichte die Agrarpolitik 2002 des Bundes, seegerechtes Verhalten durch Direktzahlungen abzugelten. Neben der Wegfuhr von Hofdünger ist vor allem das Verwenden von P-reduziertem Futter massgeblich für den Rückgang des P-Austrags auf die landwirtschaftliche Nutzfläche verantwortlich. Dank dieser entschädigten Massnahmen entspricht heute die P-Düngung dem P-Bedarf der Pflanzen (ca. 30 kg P/ha und Jahr). Zurück bleibt ein P-Depot in den Böden, welches zur Nährstoffversorgung der Pflanzen für Jahrzehnte ausreichen würde!

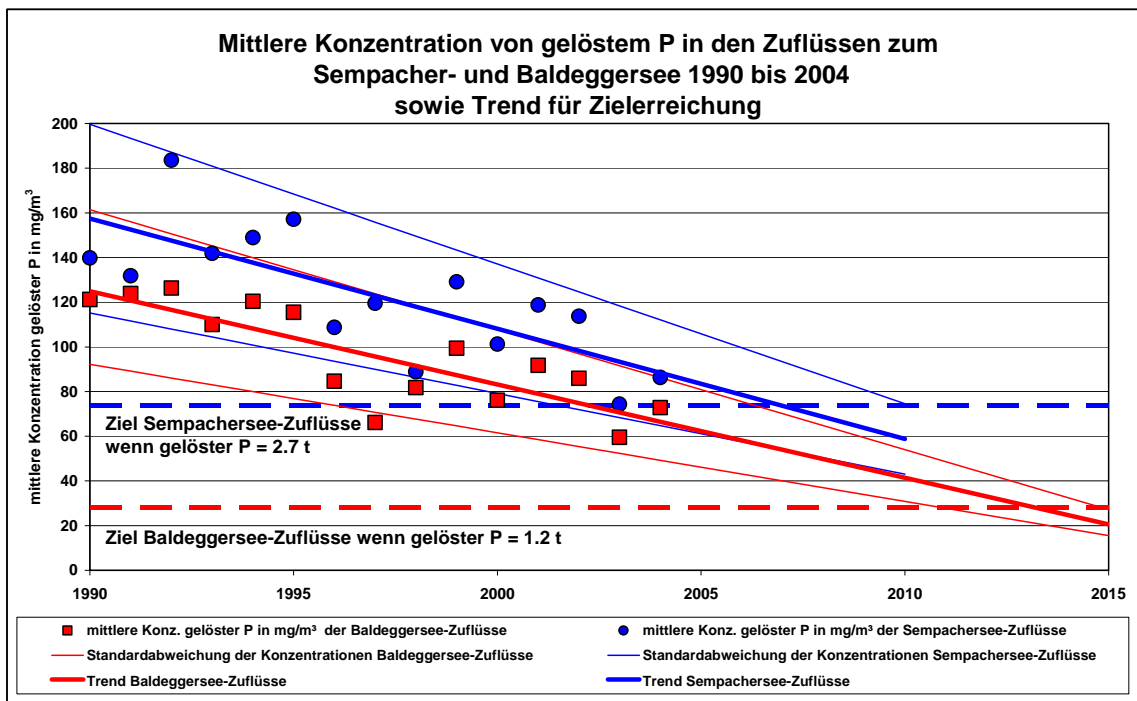
Nachstehend wird aufgezeigt, wie gross die P-Verluste aus der Tierhaltung sind und über welche Eintragspfade sie heute in den Baldeggersee gelangen. Als Grundlagen der nachfolgenden Abschätzungen dient ein Bericht der FAC [16] und die im vorliegenden Bericht errechneten Nährstoffeinträge.

läufen. Zwischen Dezember 1998 und August 2004 sind davon 61 km nach der ökomorphologischen Methode Stufe F (BUWAL 1998) klassiert worden. Von diesen klassierten Bachstrecken sind 72% natürlich, naturnah oder wenig beeinträchtigt und 14% stark beeinträchtigt, naturfremd oder künstlich und 14% eingedolt. Mit der Renaturierung von Bächen und Extensivierung von drainierten Flächen könnte der P-Eintrag in den See weiter reduziert werden.

10. Massnahmen und Empfehlungen

Vergleicht man die mittleren Konzentrationen an gelöstem P in den Zuflüssen zu den beiden benachbarten Seen Sempachersee und Baldeggensee mit den Zielkonzentrationen, welche den Eintragszielen entsprechen, hat der Sempachersee, wie aus der Abbildung 25 ersichtlich ist, die Zielkonzentration von 2.7 t bodenbürtigem gelöstem P pro Jahr bereits erreicht. Im Baldeggensee hingegen wird bei anhaltendem Erfolg der Sanierungsbemühungen die Zielkonzentration in den Zuflüssen, welche dem Eintragsziel von 1.2 t gelöstem P pro Jahr entspricht, erst in 6 bis 10 Jahren erreicht werden können.

Abbildung 25 Mittlere Konzentrationen von gelöstem P in den Zuflüssen zum Sempacher- und Baldeggensee in mg pro m³ von 1990 bis 2004 sowie Trend für die Zielerreichung



Der Grund für das schwieriger zu erreichende Sanierungsziel liegt in der wesentlich ungünstigeren topografischen Situation des Baldeggensees. Gegenüber dem Sempachersee ist der Baldeggensee bei etwa gleich grossem Einzugsgebiet flächenmässig dreimal kleiner. Zudem reduziert die geringere Tiefe des Baldeggensees den Sauerstoffvorrat während der Stagnationsphase. Um künftig ohne Seebelüftung auskommen zu können, muss die P-Konzentration im Baldeggensee zur Eindämmung des Algenwachstums auf deutlich weniger als 30 mg Gesamt-P pro m³ gesenkt werden können. Dazu sind die Sanierungsmassnahmen im Seeinzugsgebiet zu intensivieren:

- Die Gemeinde Hochdorf ist mit der Erarbeitung der Generellen Entwässerungsplanung um Jahre in Verzug. Gerade in dieser stark aufstrebenden Gemeinde ist die optimale Wirkung der Siedlungsentwässerung für die Gesundung des Baldeggensees von grösster Wichtigkeit. Dazu ist eine vorausschauende Planung der Siedlungsentwässerung unabdingbar.

- Die Massnahmen aus der Generellen Entwässerungsplanung der übrigen Gemeinden sind zügig umzusetzen, damit die Siedlungsentwässerung gewässerschonender wird. Dabei kommt der Entlastung der Kläranlagen von Fremdwasser sowie der Behandlung von verschmutztem Regenwasser besondere Bedeutung zu.
- Die ARA Hochdorf ist mit bestmöglicher P-Elimination zu betreiben. Die Restfracht an P, welche über die Ron in den Baldeggersee eingeleitet wird, darf sich künftig nicht erhöhen. Bei stark wachsender Bevölkerungszahl und/oder zusätzlichen Abwasserschmutzfrachten aus Industrie und Gewerbe ist wenn nötig rechtzeitig die ARA zu erweitern.
- Das P-Projekt Baldeggersee zur Verminderung der P-Belastung der oberirdischen Gewässer durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung ist verstärkt weiter zu führen. Dadurch sind:
 - die P-Vorräte der landwirtschaftlichen Nutzflächen abzubauen
 - zur Vermeidung von Erosion und Abschwemmung im Ackerbau flächendeckend schonende Produktionsverfahren anzuwenden
 - die Hofentwässerungen der landwirtschaftlichen Betriebe lückenlos zu sanieren
 - Güterstrassen, welche dem Viehtrieb dienen, über die Schulter zu entwässern
 - hochliegende oder defekte Drainagen zu sanieren oder die damit entwässerten Flächen sind zu extensivieren.
- Der Pestizideinsatz ist einzuschränken und hat noch vorsichtiger zu erfolgen.
- Bäche sind generell offen zu legen und beidseitig dauernd mit ungedüngten Schutzstreifen oder Hecken von mindestens 5 m Breite zu versehen.

Das Monitoring an den Zuflüssen und die monatlichen Kontrollmessungen mit Tiefenprofil im Baldeggersee sind zur Erfolgskontrolle weiter zu führen.

11. Zusammenfassung

Für die vorliegende Arbeit wurden die von 1986 bis 2004 erhobenen Zufluss-Daten nach einheitlicher Methode ausgewertet. Die Abflussmengen und die jährlichen Frachten an gelöstem P, Phosphat-P, partikulärem P, Gesamt-P, Nitrat-N und Ammonium-N sind somit in den untersuchten Zuflüssen

Obwohl die mittlere, auf den Baldeggersee und sein Einzugsgebiet gefallene jährlichen Regenmengen im Verlaufe der Untersuchungsperiode 1986 bis 2004 keine Veränderung erfahren hat, zeigt sich ein Trend hin zu mehr Niederschlag im Herbst und weniger Regen im Frühjahr.

Durch Aufschlüsselung der P-Frachten nach den verschiedenen Verursachern kann gezeigt werden, dass die grossen Bemühungen zur Sammlung und Reinigung der kommunalen Abwässer erfolgreich sind.

Anders entwickelt sich der P-Eintrag aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Wohl nehmen die mittleren Frachten von gelöstem P in den beprobten Zuflüssen langsam ab. Beim partikulären P zeigt sich aber seit Mitte der 90-er Jahre eine deutliche Zunahme. Die flächenspezifischen Frachten an gelöstem P sind in den südlichen Zuflüssen Ron und Stägbach am grössten und erreichen mit Ausnahme des Trockenjahres 2003 Werte von 50 bis 120 kg gelöstem P pro km² und Jahr. Beim Höhibach und Mülibach liegen diese Werte lediglich bei 20 bis 40 kg pro km² und Jahr. Die Jahresfracht an gelöstem P in den Zuflüssen nimmt seit 1990 jährlich um 3.5% ab, wie die abflussbereinigte Modellrechnung zeigt. Nimmt der P-Eintrag in den Baldeggersee weiterhin in gleichem Umfange ab, kann das Sanierungsziel für den Baldeggersee in rund 10 Jahren erreicht werden.

Der Export an Gesamphosphor aus dem Baldeggersee über den Aabach hat von 6.3 t im Jahre 1986 auf nur noch 1.4 t im Jahre 2004 abgenommen. Diese jährliche Abnahme von rund 3% ist erfreulich und kann als Zeichen für die fortschreitende Gesundung des Baldeggersees gewertet werden. Da der Aabach gleichzeitig der wichtigste Zufluss zum Hallwilersee ist, kann nur eine weiterhin abnehmende Phosphorfracht im Aabach die Gesundung des Hallwilersees ermöglichen.

Aus der Phosphorbilanz des Baldeggersees geht hervor, dass von 1986 bis 2004 pro m² Seegrund rund 44 g Phosphor abgelagert wurden. Diese P-Menge ist in einer rund 5 cm dicken Sedimentschicht eingelagert. Verglichen mit unseren landwirtschaftlich genutzten Böden ist das Seesediment massiv mit P angereichert. Nur wenn das Tiefenwasser und damit die Seesedimente genügend mit Sauerstoff versorgt werden, kann eine Rücklösung von P verhindert werden.

Beim N-Eintrag in den Baldeggersee ist mit Ausnahme des regenreichen Jahres 1999 ein deutlicher Rückgang seit 1986 feststellbar. Der Hauptanteil, jährlich 100 bis 200 t N, stammt aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Etwa 40 t N gelangen jährlich aus der ARA Hochdorf in den Baldeggersee. Die Deposition von N mit Staub und Regen auf die Seeoberfläche beträgt jährlich rund 8 t, wobei rund die Hälfte davon aus der intensiven Tierhaltung stammt. Die N-Bilanz zeigt, dass jährlich etwas über 100 t Nitrat-N im Baldeggersee durch Mikroorganismen in Luft-N, in geringen Mengen aber auch in Lachgas, umgewandelt werden.

Die in den Zuflüssen zum Baldegger- und Hallwilersee sowie im Aabach gefundenen Pestizidkonzentrationen zeigen, dass die Pflanzenbehandlungsmittel nicht immer mit der nötigen Sorgfalt verwendet werden. Nachteilige Auswirkungen auf die tierischen und pflanzlichen Lebensgemeinschaften der Gewässer sind mit den gefundenen Pestizidkonzentrationen nicht auszuschliessen. Aufgrund der gefundenen Konzentrationen müsste der Einsatz deutlich reduziert werden. Zudem muss sichergestellt werden, dass sämtliche pestizidhaltigen Reinigungsabwässer auf den Kulturen versprüht werden, damit sie keinesfalls in Kanalisationen, Drainageleitungen und Bäche gelangen können.

12. Literatur

- [1] **Schlatter J.; Imboden D.; Stumm W.** (1988)
Sanierung des Baldeggersees: Auswertung der Zuflussuntersuchungen, Messperiode Mai 1985 bis April 1987. EAWAG Auftrag Nr. 4693, Dübendorf, September 1988, 32.S.
- [2] **Kunze U.** (1992)
Sanierung des Baldeggersees: Auswertung der Zuflussuntersuchungen 1987/1990 und Nährstoffbelastung des Baldeggersees. Gemeindeverband Baldegger- und Hallwilersee und Kant. Amt für Umweltschutz Luzern, Luzern, Mai 1992, 60 S.
- [3] **Kunze U.** (1996)
Sanierung des Baldeggersees: Auswertung der Zuflussuntersuchungen 1991/1994. Kantonales Amt für Umweltschutz, Luzern, 55 S.
- [4] **Herzog P.** (2001)
Baldeggersee – Auswertung der Zuflussuntersuchungen 1995 bis 1999. Amt für Umweltschutz des Kantons Luzern, 37 S.
- [5] **Lohri F.** (1977)
Untersuchung der Zuflüsse des Baldeggersees 1975/76: Bericht z.Hd. Schweiz. Bundes für Naturschutz und Kant. Amt für Gewässerschutz Luzern. Hausen, April 1977, 68 S.
- [6] **Wehrli B.; Wüest A.** et al. (1996)
Zehn Jahre Seenbelüftung: Erfahrungen und Optionen, Schriftenreihe der EAWAG Nr. 9, 1996, 127 S.
- [7] **Moosmann L., Wüest A.** (2003)
Phosphorbilanz von Sempachersee und Baldeggersee; Eintrag durch Zuflüsse, Seeinterne Bilanz. EAWAG im Auftrag des Amtes für Umweltschutz Luzern, Kastanienbaum, Juli 2003, 47 und 32 S.
- [8] Kanton Luzern 2000
Phosphorprojekt Baldeggersee, Verminderung der Phosphorbelastung von oberirdischen Gewässern aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung, Kanton Luzern, 10. Januar 2000, 53 S.
- [9] GRUDAF (2001): Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau. Agrarforschung 8 (6): 2001
- [10] **Krummenacher T.** (1976): Die Nährstoffbilanz des Alpachersees. Diss. ETHZ Nr. 5689.
- [11] **Mathis B.** (1999)
Zufluss-Untersuchungen Sempachersee 1992/97. Kantonales Amt für Umweltschutz, Luzern, Oktober 1999, 77 S
- [12] **Bachofen R.** (1960)
Stoffhaushalt und Sedimentation im Baldegger- und Hallwilersee. Dissertation Universität Zürich, Juris Verlag, Zürich, 118.S
- [13] **Schlatter J., Imboden D., Stumm W.** (1988)
Sanierung des Baldeggersees: Auswertung der Zuflussuntersuchungen, Messperiode Mai 1985 bis April 1987. EAWAG Auftrag Nr. 4693, Dübendorf, September 1988, 32. S.
- [14] **Höhener P.** (1990): Der Stickstoffhaushalt von Seen, illustriert am Beispiel des Sempachersees. Diss. ETH Nr. 9157, 132 S.
- [15] **Prashun V., Grünig K.:** Evaluation der Ökomassnahmen, Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Bodenerosion. Schriftenreihe der FAL Nr. 37, April 2001, 151 S.

[16] **Prashun V. und Baun M.:** Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Bern, Schriftenreihe der FAC Nr. 17, September 1994, 113 S.

[17] **Chèvre N.** (2003): Risikobeurteilung von Pestiziden in Schweizer Oberflächengewässern. Gas Wasser Abwasser, (83) 12: 906-917

13. Anhang

Tabelle 7 Jahresabfluss, Gebietsabfluss, Abflusshöhe, Abflussverhältnis und Niederschlagshöhe der untersuchten Bäche 1986 bis 2004

Zuflüsse	Jahr	Jahresabfluss Mio. m ³ /Jahr	Gebietsabfluss ¹⁾ l/s*km ²	Abflusshöhe ²⁾ mm/Jahr	Abflussverhältnis ³⁾ %	Niederschlagshöhe mm/Jahr
Ron 27.76 km ²	1986	19.020	21.7	685	56%	1227
	1987	21.090	24.1	760	62%	1219
	1988	19.012	21.7	685	55%	1248
	1989	14.095	16.1	508	53%	955
	1990	17.921	20.5	646	53%	1226
	1991	17.253	19.7	621	62%	998
	1992	21.608	24.7	778	66%	1172
	1993	20.388	23.3	734	65%	1123
	1994	23.124	26.4	833	69%	1206
	1995	19.790	22.6	713	50%	1412
	1996	14.859	17.0	535	51%	1050
	1997	9.359	10.7	337	37%	904
	1998	12.965	14.8	467	46%	1022
	1999	25.952	29.6	935	67%	1404
	2000	15.031	17.2	541	50%	1080
2001	24.406	27.9	879	62%	1412	
2002	21.820	24.9	786	63%	1253	
2003	11.908	13.6	429	51%	841	
2004	14.614	16.7	526	50%	1046	
Stägbach 8.09 km ²	1986	4.622	18.1	572	47%	1227
	1987	4.514	17.7	558	46%	1219
	1988	5.016	19.7	620	50%	1248
	1989	3.152	12.4	390	41%	955
	1990	4.075	16.0	504	41%	1226
	1991	3.345	13.1	414	41%	998
	1992	5.031	19.7	622	53%	1172
	1993	4.931	19.3	610	54%	1123
	1994	5.649	22.2	699	58%	1206
	1995	6.332	24.8	783	55%	1412
	1996	3.319	13.0	410	39%	1050
	1997	2.556	10.0	316	35%	904
	1998	3.598	14.1	445	44%	1022
	1999	7.431	29.1	919	65%	1404
	2000	4.067	15.9	503	47%	1080
2001	6.332	24.8	783	55%	1412	
2002	5.098	20.0	631	50%	1253	
2003	1.903	7.5	235	28%	841	
2004	2.682	10.5	332	32%	1046	
Spittlisbach 3.79 km ²	1986	2.712	22.7	715	58%	1227
	1987	2.159	18.0	569	47%	1219
	1988	2.081	17.4	548	44%	1248
	1989	1.239	10.4	327	34%	955
	1990	1.946	16.3	513	42%	1226
	1991	1.675	14.0	442	44%	998
	1992	2.928	24.5	772	66%	1172
	1993	2.129	17.8	561	50%	1123
	1994	2.382	19.9	628	52%	1206
	1995	3.190	26.7	841	60%	1412
	1996	1.589	13.3	419	40%	1050
	1997	0.874	7.3	230	25%	904
	1998	1.331	11.1	351	34%	1022
	1999	2.467	20.6	650	46%	1404
	2000	1.592	13.3	420	39%	1080
2001	2.396	20.0	631	45%	1412	
2002	1.851	15.5	488	39%	1253	
2003	0.776	6.5	204	24%	841	
2004	1.139	9.5	300	29%	1046	
Höhlibach 1.71 km ²	1986	1.437	26.6	840	68%	1227
	1987	1.554	28.8	909	75%	1219
	1988	1.524	28.3	891	71%	1248
	1989	0.647	12.0	378	40%	955
	1990	0.763	14.1	446	36%	1226
	1991	0.650	12.1	380	38%	998
	1992	1.089	20.2	637	54%	1172
	1993	0.998	18.5	584	52%	1123
	1994	1.010	18.7	591	49%	1206
	1995	1.478	27.4	864	61%	1412
	1996	0.748	13.9	438	42%	1050
	1997	0.562	10.4	329	36%	904
	1998	0.637	11.8	373	36%	1022
	1999	1.376	25.5	804	57%	1404
	2000	0.923	17.1	540	50%	1080
2001	1.468	27.2	858	61%	1412	
2002	1.123	20.8	657	52%	1253	
2003	0.423	7.8	247	29%	841	
2004	0.634	11.8	371	35%	1046	
Mülibach 1.90 km ²	1986	1.456	24.3	766	62%	1227
	1987	1.634	27.3	860	71%	1219
	1988	2.076	34.7	1093	88%	1248
	1989	1.353	22.6	712	75%	955
	1990	1.920	32.0	1010	82%	1226
	1991	0.976	16.3	514	51%	998
	1992	1.448	24.2	762	65%	1172
	1993	1.764	29.4	928	83%	1123
	1994	1.785	29.8	939	78%	1206
	1995	1.869	31.2	984	70%	1412
	1996	1.343	22.4	707	67%	1050
	1997	0.785	13.1	413	46%	904
	1998	1.074	17.9	565	55%	1022
	1999	2.161	36.1	1137	81%	1404
	2000	1.256	21.0	661	61%	1080
2001	1.951	32.6	1027	73%	1412	
2002	1.517	25.3	799	64%	1253	
2003	0.663	11.1	349	42%	841	
2004	0.798	13.3	420	40%	1046	

1), 2) Gebietsabfluss und Abflusshöhe sind die Quotienten aus der Abflussmenge und der Einzugsgebietsfläche

3) Abflussverhältnis ist der Quotient aus der Abflusshöhe und der Niederschlagshöhe

Tabelle 9

Jährliche Abflussmengen und P-Frachten der Ron und des Stägbaches
in den Jahren 1986 bis 2004 (südliches Einzugsgebiet)

		Abfluss Mio. m ³ /Jahr	PO ₄ -P kg/Jahr	gelöster P kg/Jahr	partikulärer P kg/Jahr	Gesamt-P kg/Jahr
Ron	1986	19.020	2'729	2'974	4'338	7'312
	1987	21.090	3'201	3'134	4'351	7'485
	1988	19.012	2'873	3'270	5'087	8'357
	1989	14.095	1'845	2'198	2'867	5'065
	1990	17.921	2'495	3'076	3'545	6'621
	1991	17.253	2'182	2'850	2'960	5'810
	1992	21.608	3'038	3'805	3'752	7'557
	1993	20.388	2'606	3'208	3'021	6'229
	1994	23.124	3'208	3'718	3'585	7'303
	1995	19.790	2'761	3'154	3'628	6'782
	1996	14.859	1'547	1'727	2'233	3'960
	1997	9.359	722	849	1'984	2'833
	1998	12.965	1'241	1'464	3'126	4'590
	1999	25.952	3'004	3'494	8'090	11'584
	2000	15.031	1'389	1'652	3'268	4'920
	2001	24.406	2'799	3'272	6'561	9'833
	2002	21.820	2'277	2'685	5'164	7'849
2003	11.908	764	971	2'405	3'376	
2004	14.614	1'156	1'430	3'697	5'127	
Stägbach	1986	4.622	335	400	270	670
	1987	4.514	298	347	221	568
	1988	5.016	529	586	403	989
	1989	3.152	197	245	183	428
	1990	4.075	322	404	384	788
	1991	3.345	228	313	294	607
	1992	5.031	430	566	494	1'060
	1993	4.931	343	452	371	823
	1994	5.649	480	573	488	1'061
	1995	6.332	642	753	747	1'500
	1996	3.319	202	235	241	476
	1997	2.556	135	167	262	429
	1998	3.598	257	307	543	850
	1999	7.431	564	810	1'459	2'269
	2000	4.067	227	289	494	783
	2001	6.332	408	512	952	1'464
	2002	5.098	288	371	669	1'040
2003	1.903	57	90	144	234	
2004	2.682	116	160	387	547	

Tabelle 10

Jährliche Abflussmengen und P-Frachten des Spittlisbaches und des Höhibaches
in den Jahren 1986 bis 2004 (östliches Einzugsgebiet)

		Abfluss Mio. m ³ /Jahr	PO ₄ -P kg/Jahr	gelöster P kg/Jahr	partikulärer P kg/Jahr	Gesamt-P kg/Jahr
Spittlisbach	1986	2.712	270	311	319	630
	1987	2.159	227	255	244	499
	1988	2.081	218	247	451	698
	1989	1.239	114	138	178	316
	1990	1.946	188	233	386	619
	1991	1.675	128	175	240	415
	1992	2.928	200	277	420	697
	1993	2.129	136	186	296	482
	1994	2.382	201	243	466	709
	1995	3.190	274	349	725	1'074
	1996	1.589	104	123	290	413
	1997	0.874	43	53	129	182
	1998	1.331	83	98	438	536
	1999	2.467	210	251	1'469	1'720
	2000	1.592	89	114	569	683
	2001	2.396	147	190	1'006	1'196
	2002	1.851	98	129	615	744
2003	0.776	18	34	313	347	
2004	1.139	40	65	1'190	1'255	
Höhibach	1986	1.437	39	54	60	114
	1987	1.554	49	43	80	123
	1988	1.524	50	62	75	137
	1989	0.647	21	30	30	60
	1990	0.763	23	35	49	84
	1991	0.650	16	29	46	75
	1992	1.089	30	60	102	162
	1993	0.998	21	40	80	120
	1994	1.010	43	57	83	140
	1995	1.478	51	82	134	216
	1996	0.748	14	23	38	61
	1997	0.562	11	15	28	43
	1998	0.637	12	16	41	57
	1999	1.376	33	42	180	222
	2000	0.923	14	20	75	95
	2001	1.468	26	37	157	194
	2002	1.123	16	25	107	132
2003	0.423	3	6	30	36	
2004	0.634	9	14	170	184	

Tabelle 11

Jährliche Abflussmengen und P-Frachten des Mülibaches in den Jahren
1986 bis 2004 (östliches Einzugsgebiet)

		Abfluss Mio. m ³ /Jahr	PO ₄ -P kg/Jahr	gelöster P kg/Jahr	partikulärer P kg/Jahr	Gesamt-P kg/Jahr
Mülibach	1986	1.456	53	71	150	221
	1987	1.634	48	75	61	136
	1988	2.076	85	113	126	239
	1989	1.353	38	56	68	124
	1990	1.920	71	113	152	265
	1991	0.976	29	51	68	119
	1992	1.448	55	84	129	213
	1993	1.764	64	94	157	251
	1994	1.785	89	117	175	292
	1995	1.869	85	108	174	282
	1996	1.343	49	60	123	183
	1997	0.785	17	25	68	93
	1998	1.074	24	35	263	298
	1999	2.161	50	79	1'009	1'088
	2000	1.256	27	37	334	371
	2001	1.951	51	65	623	689
	2002	1.517	33	46	369	415
	2003	0.663	8	13	95	108
	2004	0.798	15	22	341	363

Tabelle 12

Ermittlung der P-Zufuhren aus dem Einzugsgebiet des Baldegersees 1986 bis 1995

Gesamt-Phosphor	1986		1987		1988		1989		1990		1991		1992		1993		1994		1995		
	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]
Ron bis Messstelle	27.76	7312	263	7485	270	8357	301	5065	182	6621	239	5810	209	7557	272	6229	224	7303	263	6782	244
Stägbach bis Messstelle	8.09	670	83	568	70	989	122	428	53	788	97	607	75	1060	131	823	102	1061	131	1500	186
Summe 1)	35.85	7982		8053		9346		5493		7409		6417		8617		7052		8364		8282	
Mittel 1)			223		225		261		153		207		179		240		197		233		231
Rest-EZG 1)	3.59	800		810		940		550		740		640		860		710		840		830	
Spittlisbach bis Messstelle	3.79	630	166	499	132	698	184	316	83	619	163	415	109	697	184	482	127	709	187	1074	283
Höhlabach bis Messstelle	1.71	114	67	123	72	137	80	60	35	84	49	75	44	162	95	120	70	140	82	216	126
Summe 2)	5.50	744		622		835		376		703		490		859		602		849		1290	
Mittel 2)			135		113		152		68		128		89		156		109		154		234
Rest-EZG 2)	11.55	1560		1300		1750		790		1470		1030		1800		1260		1780		2710	
Müllbach bis Messstelle	1.90	221	116	136	71	239	126	124	65	265	139	119	63	213	112	251	132	292	153	282	148
Rest-EZG 3)	9.41	1090		670		1180		610		1310		590		1050		1240		1440		1390	
Resteinzugsgebiete		3450		2780		3870		1950		3520		2260		3710		3210		4060		4930	
Einzugsgebiet Total ^{d)}		12400	± 2340	11590	± 2410	14290	± 3230	7940	± 1910	11900	± 2230	9290	± 1770	13400	± 2340	11120	± 2040	13570	± 2500	14780	± 2370

gelöster Phosphor	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]
Ron bis Messstelle	27.76	2974	107	3134	113	3270	118	2198	79	3076	111	2850	103	3805	137	3208	116	3718	134	3154	114
Stägbach bis Messstelle	8.09	400	49	347	43	586	72	245	30	404	50	313	39	566	70	452	56	573	71	753	93
Summe 1)	35.85	3374		3481		3856		2443		3480		3163		4371		3660		4291		3907	
Mittel 1)			94		97		108		68		97		88		122		102		120		109
Rest-EZG 1)	3.59	340		350		390		240		350		320		440		370		430		390	
Spittlisbach bis Messstelle	3.79	311	92	255	112	247	65	138	36	233	61	175	46	277	73	186	49	243	64	349	92
Höhlabach bis Messstelle	1.71	54	60	43	65	62	36	30	18	35	20	29	17	60	35	40	23	57	33	82	48
Summe 2)	5.50	365		298		309		168		268		204		337		226		300		431	
Mittel 2)			66		54		56		31		49		37		61		41		55		78
Rest-EZG 2)	11.55	770		630		650		350		560		430		710		470		630		900	
Müllbach bis Messstelle	1.90	71	37	75	39	113	59	56	29	113	59	51	27	84	44	94	49	117	61	108	57
Rest-EZG 3)	9.41	350		370		560		280		560		250		420		460		580		530	
Resteinzugsgebiete		1460		1350		1600		870		1470		1000		1570		1300		1640		1820	
Einzugsgebiet Total ^{d)}		5270	± 840	5200	± 800	5880	± 1090	3540	± 640	5330	± 950	4420	± 850	6360	± 1220	5280	± 1030	6350	± 1260	6270	± 1060

PO ₄ -P	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]
Ron bis Messstelle	27.76	2729	98	3201	115	2873	103	1845	66	2495	90	2182	79	3038	109	2606	94	3208	116	2761	99
Stägbach bis Messstelle	8.09	335	41	298	37	529	65	197	24	322	40	228	28	430	53	343	42	480	59	642	79
Summe 1)	35.85	3064		3499		3402		2042		2817		2410		3468		2949		3688		3403	
Mittel 1)			85		98		95		57		79		67		97		82		103		95
Rest-EZG 1)	3.59	310		350		340		200		280		240		350		300		370		340	
Spittlisbach bis Messstelle	3.79	270	84	227	84	218	57	114	30	188	50	128	34	200	53	136	36	201	53	274	72
Höhlabach bis Messstelle	1.71	39	23	49	29	50	29	21	12	23	13	16	9	30	18	21	12	43	25	51	30
Summe 2)	5.50	309		276		268		135		211		144		230		157		244		325	
Mittel 2)			56		50		49		25		38		26		42		29		44		59
Rest-EZG 2)	11.55	650		580		560		280		440		300		480		330		510		680	
Müllbach bis Messstelle	1.90	53	28	48	25	85	45	38	20	71	37	29	15	55	29	64	34	89	47	85	45
Rest-EZG 3)	9.41	260		240		420		190		350		140		270		320		440		420	
Resteinzugsgebiete		1220		1170		1320		670		1070		680		1100		950		1320		1440	
Einzugsgebiet Total ^{d)}		4650	± 810	4990	± 1030	5080	± 960	2890	± 560	4170	± 780	3260	± 660	4850	± 1320	4120	± 1190	5340	± 1110	5250	± 940

partikulärer Phosphor	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]
Ron bis Messstelle	27.76	4338	156	4351	157	5087	183	2867	103	3545	128	2960	107	3752	135	3021	109	3585	129	3628	131
Stägbach bis Messstelle	8.09	270	33	221	27	403	50	183	23	384	47	294	36	494	61	371	46	488	60	747	92
Summe 1)	35.85	4608		4572		5490		3050		3929		3254		4246		3392		4073		4375	
Mittel 1)			129		128		153		85		110		91		118		95		114		122
Rest-EZG 1)	3.59	460		460		550		310		390		330		430		340		410		440	
Spittlisbach bis Messstelle	3.79	319	84	244	64	451	119	178	47	386	102	240	63	420	111	296	78	466	123	725	191
Höhlabach bis Messstelle	1.71	60	35	80	47	75	44	30	18	49	29	46	27	102	60	80	47	83	49	134	78
Summe 2)	5.50	379		324		526		208		435		286		522		376		549		859	
Mittel 2)			69		59		96		38		79		52		95		68		100		156
Rest-EZG 2)	9.41	800		680		1100		440		910		600		1100		790		1150		1800	
Müllbach bis Messstelle	1.90	150	79	61	32	126	66	68	36	152	80	68	36	129	68	157	82	175	92	174	91
Rest-EZG 3)	9.41	740		300		620		340		750		340		640		780		860		860	
Resteinzugsgebiete		2000		1440		2270		1090		2050		1270		2170		1910		2420		3100	
Einzugsgebiet Total ^{d)}		7140	± 1500	6400	± 1610	8410	± 2150	4420	± 1270	6570	± 1280	4880	± 920	7070	± 1120	5840	± 1010	7220	± 1250	8510	± 1310

1) Südliches Einzugsgebiet (EZG 1)

2) Nordöstliches Einzugsgebiet (EZG 2)

Tabelle 13

Ermittlung der P-Zufuhren aus dem Einzugsgebiet des Baldegersees 1996 bis 2004

		1996		1997		1998		1999		2000		2001		2002		2003		2004	
	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]
Gesamt-Phosphor																			
Ron bis Messstelle	27.76	3960	143	2833	102	4590	165	11584	417	4920	177	9833	354	7849	283	3376	122	5127	185
Stägbach bis Messstelle	8.09	476	59	429	53	850	105	2269	281	783	97	1464	181	1040	234	29	547	68	
Summe 1)	35.85	4436		3262		5440		13853		5703		11297		8889		3610		5674	
Mittel 1)			124		91		152		386		159		315		248		101		158
Rest-EZG 1)	3.59	440		330		540		1390		570		1130		890		360		570	
Spittlisbach bis Messstelle	3.79	413	109	182	48	536	141	1720	453	683	180	1196	315	744	196	347	91	1255	331
Höhibach bis Messstelle	1.71	61	36	43	25	57	33	222	130	95	56	194	113	132	77	36	21	184	108
Summe 2)	5.50	474		225		593		1942		778		1390		876		383		1439	
Mittel 2)			86		41		108		353		141		253		159		70		261
Rest-EZG 2)	11.55	990		470		1240		4070		1630		2920		1840		800		3020	
Müllbach bis Messstelle	1.90	183	96	93	49	298	157	1088	572	371	195	689	362	415	218	108	57	363	191
Rest-EZG 3)	9.41	900		460		1470		5380		1830		3400		2050		530		1790	
Resteinzugsgebiete		2330		1260		3250		10840		4030		7450		4780		1690		5380	
Einzugsgebiet Total⁴⁾	7420	± 1570	4840	± 1570	9580	± 1970	27720	± 3630	10880	± 1740	20830	± 3390	14960	± 2320	5790	± 1330	12860	± 3470	
gelöster Phosphor																			
Ron bis Messstelle	27.76	1727	62	849	31	1464	53	3494	126	1652	60	3272	118	2685	97	971	35	1430	52
Stägbach bis Messstelle	8.09	235	29	167	21	307	38	810	100	289	36	512	63	371	46	90	11	160	20
Summe 1)	35.85	1962		1016		1771		4304		1941		3784		3056		1061		1590	
Mittel 1)			55		28		49		120		54		106		85		30		44
Rest-EZG 1)	3.59	200		100		180		430		190		380		310		110		160	
Spittlisbach bis Messstelle	3.79	123	32	53	14	98	26	251	66	114	30	190	50	129	34	34	9	65	17
Höhibach bis Messstelle	1.71	23	13	15	9	16	9	42	25	20	12	37	22	25	14	6	4	14	8
Summe 2)	5.50	146		68		114		293		134		227		153		40		79	
Mittel 2)			27		12		21		53		24		41		28		7		14
Rest-EZG 2)	11.55	310		140		240		610		280		480		320		80		170	
Müllbach bis Messstelle	1.90	60	32	25	13	35	18	79	42	37	20	65	34	46	24	13	7	22	12
Rest-EZG 3)	9.41	300		120		170		390		180		320		230		60		110	
Resteinzugsgebiete		810		360		590		1430		650		1180		860		250		440	
Einzugsgebiet Total⁴⁾	2980	± 610	1470	± 280	2510	± 480	6110	± 970	2760	± 480	5260	± 1100	4110	± 850	1360	± 340	2130	± 760	
PO₄-P																			
Ron bis Messstelle	27.76	2233	80	1984	71	3126	113	8090	291	3268	118	6561	236	5164	186	2405	87	3697	133
Stägbach bis Messstelle	8.09	241	30	262	32	543	67	1459	180	494	61	952	118	669	83	144	18	387	48
Summe 1)	35.85	2474		2246		3669		9549		3762		7513		5833		2549		4084	
Mittel 1)			69		63		102		266		105		210		163		71		114
Rest-EZG 1)	3.59	250		220		370		960		380		750		580		260		410	
Spittlisbach bis Messstelle	3.79	104	27	43	11	83	22	210	55	89	23	147	39	98	26	18	5	40	11
Höhibach bis Messstelle	1.71	14	8	11	6	12	7	33	19	14	8	26	15	16	10	3	2	9	5
Summe 2)	5.50	118		54		95		243		103		173		114		21		49	
Mittel 2)			21		10		17		44		19		31		21		4		9
Rest-EZG 2)	11.55	250		110		200		510		220		360		240		40		100	
Müllbach bis Messstelle	1.90	49	26	17	9	24	13	50	27	27	14	51	27	33	17	8	4	15	8
Rest-EZG 3)	9.41	240		80		120		250		130		250		160		40		80	
Resteinzugsgebiete		670		280		470		1120		570		930		660		160		370	
Einzugsgebiet Total⁴⁾	2590	± 570	1210	± 250	2090	± 430	4980	± 850	2260	± 420	4360	± 790	3370	± 650	1010	± 290	1650	± 710	
partikulärer Phosphor																			
Ron bis Messstelle	27.76	2233	80	1984	71	3126	113	8090	291	3268	118	6561	236	5164	186	2405	87	3697	133
Stägbach bis Messstelle	8.09	241	30	262	32	543	67	1459	180	494	61	952	118	669	83	144	18	387	48
Summe 1)	35.85	2474		2246		3669		9549		3762		7513		5833		2549		4084	
Mittel 1)			69		63		102		266		105		210		163		71		114
Rest-EZG 1)	3.59	250		220		370		960		380		750		580		260		410	
Spittlisbach bis Messstelle	3.79	290	76	129	34	438	115	1469	387	569	150	1006	265	615	162	313	82	1190	314
Höhibach bis Messstelle	1.71	38	22	28	16	41	24	180	105	75	44	157	92	107	63	30	18	170	99
Summe 2)	5.50	328		157		479		1649		644		1163		723		343		1360	
Mittel 2)			60		29		87		300		117		211		131		62		247
Rest-EZG 2)	9.41	690		330		1000		3460		1350		2440		1520		720		2850	
Müllbach bis Messstelle	1.90	123	65	68	36	263	138	1009	530	334	175	623	327	369	194	95	50	341	179
Rest-EZG 3)	9.41	610		340		1300		4980		1650		3080		1820		470		1680	
Resteinzugsgebiete		1550		890		2670		9400		3380		6270		3920		1450		4940	
Einzugsgebiet Total⁴⁾	4480	± 960	3360	± 1290	7080	± 1500	21610	± 2690	8120	± 1270	15570	± 2300	10850	± 1490	4440	± 1000	10720	± 2710	

1) Südliches Einzugsgebiet (EZG 1)

2) Nordöstliches Einzugsgebiet (EZG 2)

3) Südwestliches Einzugsgebiet (EZG 3)

4) ± entspricht 95%-Vertrauensbereich

Tabelle 14

95%-Vertrauensbereiche der P-Zufuhren 1986 bis 1995

	1986		1987		1988		1989		1990		1991		1992		1993		1994		1995	
Gesamt-Phosphor	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	
Ron bis Messstelle	27.76	2307	83	2387	86	3189	115	1893	68	2186	79	1744	63	2293	83	2006	72	2440	88	2250
Stägbach bis Messstelle	8.09	176	22	146	18	329	41	140	17	263	33	199	25	329	41	256	369	46	536	
Summe 1)	35.85	2483		2533		3518		2033		2449		1943		2622		2809		2786		
Mittel 1)			69		71		98		57		68		54		73		63		78	
Rest-EZG 1)	3.59	250		250		350		200		250		190		260		230		280		280
Spittlisbach bis Messstelle	3.79	170	45	149	39	222	59	107	28	178	47	135	36	182	48	140	37	231	61	317
Höhlabach bis Messstelle	1.71	34	20	37	22	38	22	19	11	28	16	25	15	30	36	21	50	29	69	
Summe 2)	5.50	204		186		260		126		206		160		233		176		281		386
Mittel 2)			37		34		47		23		37		29		42		32		51	
Rest-EZG 2)	11.55	430		390		550		260		430		340		490		370		590		810
Müllbach bis Messstelle	1.90	87	46	41	22	77	40	41	22	77	40	38	20	64	34	73	38	99	52	85
Rest-EZG 3)	9.41	430		200		380		200		380		190		320		360		490		420
Resteinzugsgebiete		1170		840		1280		660		1060		720		1070		960		1360		1510
Einzugsgebiet Total ⁴⁾	± 2340		± 2410		± 3230		± 1910		± 2230		± 1770		± 2340		± 2040		± 2500		± 2370	

gelöster Phosphor	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	
Ron bis Messstelle	27.76	830	30	786	28	1064	38	634	23	930	34	840	30	1202	43	1013	36	1234	44	1016
Stägbach bis Messstelle	8.09	91	11	80	10	197	24	72	9	125	15	98	12	177	22	152	19	190	23	254
Summe 1)	35.85	921		866		1261		706		1055		938		1379		1165		1424		1270
Mittel 1)			26		24		35		20		29		26		38		32		40	
Rest-EZG 1)	3.59	90		90		130		70		110		90		140		120		140		130
Spittlisbach bis Messstelle	3.79	72	19	58	15	55	14	34	9	57	15	47	12	67	18	50	13	71	19	100
Höhlabach bis Messstelle	1.71	20	12	14	8	17	10	9	5	11	6	10	6	20	12	13	8	21	12	16
Summe 2)	5.50	92		72		72		43		68		57		87		63		92		127
Mittel 2)			17		13		13		8		12		10		16		11		17	
Rest-EZG 2)	11.55	190		150		150		90		140		120		180		130		190		270
Müllbach bis Messstelle	1.90	20	11	22	12	34	18	17	9	34	18	17	9	28	15	31	16	43	23	35
Rest-EZG 3)	9.41	100		110		170		80		170		80		140		150		210		170
Resteinzugsgebiete		380		350		450		240		420		290		460		400		540		570
Einzugsgebiet Total ⁴⁾	± 840		± 800		± 1090		± 640		± 950		± 850		± 1220		± 1030		± 1260		± 1060	

PO ₄ -P	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	
Ron bis Messstelle	27.76	803	29	1025	37	930	34	549	20	772	28	653	24	1311	47	1179	42	1089	39	903
Stägbach bis Messstelle	8.09	79	10	72	9	192	24	61	8	106	13	76	9	141	17	119	15	166	21	224
Summe 1)	35.85	882		1097		1122		610		878		729		1452		1298		1255		1127
Mittel 1)			25		31		31		17		24		20		41		36		35	
Rest-EZG 1)	3.59	90		110		110		60		90		70		150		130		130		110
Spittlisbach bis Messstelle	3.79	65	17	52	14	49	13	28	7	46	12	32	8	46	12	38	10	62	16	76
Höhlabach bis Messstelle	1.71	13	8	14	8	15	9	7	4	8	5	7	4	9	5	7	4	17	10	19
Summe 2)	5.50	78		66		64		35		54		39		55		45		79		95
Mittel 2)			14		12		12		6		10		7		10		8		14	
Rest-EZG 2)	11.55	160		140		130		70		110		80		120		90		170		200
Müllbach bis Messstelle	1.90	17	9	14	7	27	14	12	6	22	12	10	5	20	11	22	12	34	18	28
Rest-EZG 3)	9.41	80		70		130		60		110		50		100		110		170		140
Resteinzugsgebiete		330		320		370		190		310		200		370		330		470		450
Einzugsgebiet Total ⁴⁾	± 810		± 1030		± 960		± 560		± 780		± 660		± 1320		± 1190		± 1110		± 940	

partikulärer Phosphor	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	
Ron bis Messstelle	27.76	1477	53	1601	58	2125	77	1259	45	1256	45	904	33	1091	39	993	36	1206	43	1234
Stägbach bis Messstelle	8.09	85	11	132	16	132	16	68	8	138	17	101	12	152	19	104	13	179	22	282
Summe 1)	35.85	1562		1667		2257		1327		1394		1005		1243		1097		1385		1516
Mittel 1)			44		47		63		37		39		28		35		31		39	
Rest-EZG 1)	3.59	160		170		230		130		140		100		120		110		140		150
Spittlisbach bis Messstelle	3.79	98	26	91	24	167	44	73	19	121	32	88	23	115	30	90	24	160	42	217
Höhlabach bis Messstelle	1.71	14	8	23	13	21	12	10	6	17	10	15	9	31	18	23	13	29	17	42
Summe 2)	5.50	112		114		188		83		138		103		146		113		189		259
Mittel 2)			20		21		34		15		25		19		27		21		34	
Rest-EZG 2)	11.55	230		240		390		170		290		220		310		240		400		540
Müllbach bis Messstelle	1.90	67	35	19	10	43	23	24	13	43	23	21	11	36	19	42	22	56	29	50
Rest-EZG 3)	9.41	320		90		210		120		210		100		180		210		280		250
Resteinzugsgebiete		720		500		830		420		640		420		610		560		820		940
Einzugsgebiet Total ⁴⁾	± 1500		± 1610		± 2150		± 1270		± 1280		± 920		± 1120		± 1010		± 1250		± 1310	

1) Südliches Einzugsgebiet (EZG 1)

2) Nordöstliches Einzugsgebiet (EZG 2)

3) Südwestliches Einzugsgebiet (EZG 3)

4) Gesamtfehler = Wurzel aus Summen der Fehler der Jahresfrachten der Zuflüsse im Quadrat + 0.25*Jahresfracht der nicht beprobten Einzugsgebiete im Quadrat

Tabelle 15

95%-Vertrauensbereiche der P-Zufuhren 1996 bis 2004

Gesamt-Phosphor	Flächen [km ²]	1996		1997		1998		1999		2000		2001		2002		2003		2004	
		Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]
Ron bis Messstelle	27.76	1540	55	1553	56	1885	68	3314	119	1641	59	3268	118	2236	81	1293	47	3431	124
Stagbach bis Messstelle	8.09	183	23	167	21	313	39	753	93	258	32	444	55	343	42	91	11	247	31
Summe 1)	35.85	1723		1720		2198		4067		1899		3712		2579		1384		3678	
Mittel 1)			48		48		61		113		53		104		72		39		103
Rest-EZG 1)	3.59	170		170		220		410		190		370		260		140		370	
Spittlisbach bis Messstelle	3.79	132	35	67	18	249	66	673	177	281	74	428	113	286	75	183	48	72	19
Höhlabach bis Messstelle	1.71	24	14	16	9	20	12	73	43	45	26	74	43	57	33	20	11	105	61
Summe 2)	5.50	156		83		269		746		326		502		344		202		177	
Mittel 2)			28		15		49		136		59		91		62		37		32
Rest-EZG 2)	11.55	330		170		560		1570		680		1050		720		420		370	
Müllbach bis Messstelle	1.90	59	31	40.479	21	144	76	398	209	163	86	220	116	142	74	56	30	197	103
Rest-EZG 3)	9.41	290		200		710		1970		810		1090		700		280		970	
Resteinzugsgebiete		790		540		1490		3950		1680		2510		1680		840		1710	
Einzugsgebiet Total ⁴⁾		± 1570		± 1570		± 1970		± 3630		± 1740		± 3390		± 2320		± 1330		± 3470	

geloster Phosphor	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]
Ron bis Messstelle	27.76	596	21	273	10	463	17	927	33	470	17	1088	39	838	30	333	12	761	27
Stagbach bis Messstelle	8.09	83	10	54	7	99	12	248	31	88	11	139	17	105	13	28	4	50	6
Summe 1)	35.85	679		327		562		1175		558		1227		943		361		811	
Mittel 1)			19		9		16		33		16		34		26		10		23
Rest-EZG 1)	3.59	70		30		60		120		60		120		90		40		80	
Spittlisbach bis Messstelle	3.79	37	10	16	4	28	7	70	18	32	8	53	14	39	10	10	3	21	6
Höhlabach bis Messstelle	1.71	10	6	6	4	5	3	13	8	7	4	11	6	8	4	2	1	5	3
Summe 2)	5.50	47		22		33		83		39		64		46		12		26	
Mittel 2)			9		4		6		15		7		12		8		2		5
Rest-EZG 2)	11.55	100		50		70		170		80		130		100		30		60	
Müllbach bis Messstelle	1.90	20	11	9	5	11	6	22	12	11	6	29	15	14	7	4	2	8	4
Rest-EZG 3)	9.41	100		50		60		110		60		140		70		20		40	
Resteinzugsgebiete		270		130		190		400		200		390		260		90		180	
Einzugsgebiet Total ⁴⁾		± 610		± 280		± 480		± 970		± 480		± 1100		± 850		± 340		± 760	

PO ₄ -P	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]
Ron bis Messstelle	27.76	561	20	244	9	418	15	823	30	414	15	778	28	642	23	284	10	704	25
Stagbach bis Messstelle	8.09	73	9	47	6	90	11	167	21	76	9	123	15	93	11	22	3	43	5
Summe 1)	35.85	634		291		508		990		490		901		735		306		747	
Mittel 1)			18		8		14		28		14		25		20		9		21
Rest-EZG 1)	3.59	60		30		50		100		50		90		70		30		70	
Spittlisbach bis Messstelle	3.79	33	9	14	4	23	6	62	16	27	7	45	12	33	9	16	4	59	16
Höhlabach bis Messstelle	1.71	7	4	4	2	3.8	2	11	6	5.7	3	8	5	6	3	1	1	4	2
Summe 2)	5.50	40		18		26.8		73		32.7		53		39		18		63	
Mittel 2)			7		3		5		13		6		10		7		3		11
Rest-EZG 2)	11.55	80		40		60		150		70		110		80		40		130	
Müllbach bis Messstelle	1.90	16	8	7	3	8	4	14	8	8	4	17	9	11	6	3	2	6	3
Rest-EZG 3)	9.41	80		30		40		70		40		80		50		20		30	
Resteinzugsgebiete		220		100		150		320		160		280		200		90		230	
Einzugsgebiet Total ⁴⁾		± 570		± 250		± 430		± 850		± 420		± 790		± 650		± 290		± 710	

partikulärer Phosphor	Flächen [km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]	Fracht [kg/a]	spez. Fracht [kg/a km ²]
Ron bis Messstelle	27.76	944	34	1280	46	1422	51	2387	86	1171	42	2180	79	1398	50	960	35	2670	96
Stagbach bis Messstelle	8.09	100	12	113	14	214	26	505	62	170	21	304	38	238	29	62	8	198	24
Summe 1)	35.85	1044		1393		1636		2892		1341		2484		1636		1022		2868	
Mittel 1)			29		39		46		81		37		69		46		29		80
Rest-EZG 1)	3.59	100		140		160		290		130		250		160		100		290	
Spittlisbach bis Messstelle	3.79	95	25	51	13	221	58	603	159	249	66	375	99	248	65	173	46	51	14
Höhlabach bis Messstelle	1.71	14	8	10	6	15	9	60	35	38	22	63	37	50	29	18	10	100	58
Summe 2)	5.50	109		61		236		663		287		438		297		190		151	
Mittel 2)			20		11		43		120		52		80		54		35		27
Rest-EZG 2)	11.55	230		130		500		1390		600		920		620		400		320	
Müllbach bis Messstelle	1.90	39	20	31	16	133	70	375	197	152	80	192	101	128	67	52	27	189	99
Rest-EZG 3)	9.41	190		150		660		1850		750		950		630		260		930	
Resteinzugsgebiete		520		420		1320		3530		1480		2120		1410		760		1540	
Einzugsgebiet Total ⁴⁾		± 960		± 1290		± 1500		± 2690		± 1270		± 2300		± 1490		± 1000		± 2710	

1) Südliches Einzugsgebiet (EZG 1)

2) Nordöstliches Einzugsgebiet (EZG 2)

3) Südwestliches Einzugsgebiet (EZG 3)

4) Gesamtfehler = Wurzel aus Summen der Fehler der Jahresfrachten der Zuflüsse im Quadrat + 0.25*Jahresfracht der nicht beprobten Einzugsgebiete im Quadrat

Tabelle 17 P-Export über den Aabach von 1986 bis 2004 in Tonnen pro Jahr

Jahr	Abfluss Aabach Mio. m ³ pro Jahr	gelöster P t pro Jahr	partikulärer P t pro Jahr	Gesamt-P t pro Jahr	PO ₄ -P t pro Jahr
1986	45.6	5.20	1.15	6.35	4.49
1987	48.8	4.82	2.53	7.35	4.16
1988	45.2	4.32	1.91	6.23	3.79
1989	29.7	1.83	2.34	4.17	1.52
1990	37.1	1.83	0.99	2.82	1.43
1991	32.6	1.73	0.99	2.72	1.42
1992	46.0	2.60	0.90	3.50	2.19
1993	38.9	1.55	0.83	2.38	1.20
1994	42.4	2.05	0.79	2.83	1.65
1995	54.3	2.43	1.09	3.52	1.98
1996	39.5	1.70	0.78	2.48	1.44
1997	26.2	0.96	0.55	1.52	0.77
1998	29.3	1.42	0.61	2.03	1.20
1999	56.8	2.45	1.83	4.27	1.99
2000	40.9	1.57	0.86	2.43	1.29
2001	56.7	1.54	1.28	2.82	1.16
2002	44.9	0.80	0.99	1.79	0.53
2003	23.6	0.47	0.60	1.07	0.33
2004	30.6	0.58	0.84	1.42	0.38

Tabelle 20 Jahresfrachten an Nitrat- und Ammonium-N in den Zuflüssen zum Baldeggersee und den Resteinzugsgebieten

Fracht Nitrat-N in t/Jahr																			
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Ron	115.2	128.2	76.7	57.1	72.4	69.7	87.1	72.3	82.4	70.4	52.1	34.3	50.5	103.9	47.78	61.71	53.88	34.64	44.81
Stägbach	33.9	31.8	24.9	15.4	20.1	16.4	25.0	22.0	25.3	28.4	14.7	11.9	17.6	36.5	17.59	23.96	19.06	8.32	12.35
Resteinzugsgebiete	14.9	16.0	10.2	7.3	9.3	8.6	11.2	9.4	10.8	9.9	6.7	4.6	6.8	14.0	6.5	8.6	7.3	4.3	5.7
südliches Einzugsgebiet	163.9	176.0	111.8	79.8	101.8	94.7	123.3	103.8	118.5	108.7	73.5	50.8	75.0	154.4	71.9	94.2	80.2	47.3	62.9
Spittlisbach	17.2	13.3	9.2	5.5	8.6	7.4	13.0	8.4	9.6	13.0	6.1	3.4	5.6	10.8	5.953	8.552	6.528	2.954	4.489
Höhibach	8.6	9.4	7.8	3.0	3.7	3.2	5.8	4.3	6.5	3.1	2.3	2.9	6.6	4.185	5.59	4.135	1.637	2.607	
Resteinzugsgebiete	54.0	47.5	35.8	17.8	25.8	22.3	39.6	26.5	29.1	40.9	19.3	12.1	17.7	36.5	21.3	29.7	22.4	9.6	14.9
östliches Einzugsgebiet	79.7	70.2	52.8	26.3	38.1	32.9	58.4	39.1	42.9	60.5	28.6	17.8	26.2	53.9	31.4	43.8	33.0	14.2	22.0
Mülibach	7.1	8.0	7.7	5.1	7.2	3.7	5.4	5.3	5.5	5.8	4.0	2.3	3.1	6.2	3.195	4.253	3.229	1.639	2.001
Resteinzugsgebiete	41.9	47.5	45.9	30.4	42.6	21.8	32.2	31.6	33.0	34.5	24.0	13.8	18.6	36.8	19.0	25.3	19.2	9.7	11.9
westliches Einzugsgebiet	49.0	55.5	53.6	35.6	49.8	25.5	37.7	36.9	38.5	40.3	28.0	16.1	21.8	43.0	22.2	29.5	22.4	11.4	13.9
Einzugsgebiet Total	292.7	301.6	218.2	141.7	189.6	153.1	219.3	179.9	199.9	209.5	130.1	84.8	122.9	251.3	125.5	167.6	135.7	72.9	98.8

Fracht Ammonium-N in t/Jahr																			
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Ron	2.80	3.11	1.70	1.16	1.49	1.53	1.94	1.76	2.03	1.71	1.23	0.61	0.86	2.36	0.78	1.33	1.17	0.49	0.69
Stägbach	0.41	0.40	0.36	0.21	0.27	0.26	0.39	0.17	0.21	0.29	0.10	0.10	0.14	0.35	0.15	0.26	0.21	0.07	0.11
Resteinzugsgebiete	0.32	0.35	0.21	0.14	0.18	0.18	0.23	0.19	0.22	0.20	0.13	0.07	0.10	0.27	0.09	0.16	0.14	0.06	0.08
südliches Einzugsgebiet	3.52	3.87	2.27	1.51	1.94	1.97	2.56	2.12	2.46	2.20	1.46	0.78	1.10	2.97	1.02	1.75	1.51	0.61	0.88
Spittlisbach	0.40	0.29	0.13	0.05	0.11	0.12	0.21	0.11	0.13	0.19	0.07	0.03	0.05	0.19	0.11	0.15	0.06	0.02	0.03
Höhibach	0.12	0.14	0.08	0.04	0.04	0.04	0.06	0.04	0.04	0.05	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02
Resteinzugsgebiete	1.10	0.90	0.44	0.18	0.32	0.33	0.58	0.31	0.36	0.51	0.21	0.09	0.14	0.48	0.27	0.38	0.19	0.07	0.11
östliches Einzugsgebiet	1.63	1.33	0.65	0.27	0.47	0.49	0.85	0.45	0.53	0.75	0.32	0.14	0.20	0.70	0.40	0.56	0.28	0.10	0.16
Mülibach	0.14	0.15	0.06	0.03	0.05	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.02	0.02	0.05	0.02	0.04	0.03	0.01	0.02
Resteinzugsgebiete	0.83	0.88	0.35	0.17	0.28	0.20	0.23	0.28	0.30	0.31	0.21	0.10	0.12	0.29	0.13	0.25	0.19	0.08	0.11
westliches Einzugsgebiet	0.97	1.03	0.41	0.20	0.32	0.27	0.33	0.35	0.36	0.25	0.11	0.14	0.34	0.16	0.29	0.22	0.09	0.13	
Einzugsgebiet Total	6.13	6.23	3.33	1.98	2.73	2.69	3.68	2.90	3.34	3.32	2.03	1.04	1.44	4.02	1.57	2.60	2.01	0.80	1.16